

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**CONTRIBUIÇÕES PARA A AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE
SUBSISTEMAS DE COBERTURA EM HABITAÇÕES
DE INTERESSE SOCIAL**

Daniel Pinho de Oliveira

Porto Alegre
março 2005

DANIEL PINHO DE OLIVEIRA

**CONTRIBUIÇÕES PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE
SUBSISTEMAS DE COBERTURA EM HABITAÇÕES
DE INTERESSE SOCIAL**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 24 de março de 2005

Prof.a Carin Maria Schmitt
Dr.a pela UFRGS
Orientadora

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD. pela Universidade de Sheffield / UK
Co-Orientador

Prof. Américo Campos Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Vanderley Moacyr John (USP)
Dr. c/ Livre Docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil

Prof^a. Karla Salvagni Heineck (PPGEC/UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof^a. Ana Luíza Raabe Abitante (PPGEC/UFRGS)
Dr. pela UFRGS

O48c Oliveira, Daniel Pinho de
Contribuições para avaliação ambiental de subsistemas de cobertura em habitações de interesse social / Daniel Pinho de Oliveira. – 2005.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2005.

Orientadora : Prof^a. Dr.^a Carin Maria Schmitt
Co-Orientador : Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Habitação popular. 3. Construção sustentável. I. Schmitt, Carin Maria, orient. 2. Sattler, Miguel Aloysio, co-orient. III. Título.

CDU-69:658(043)

DANIEL PINHO DE OLIVEIRA

**CONTRIBUIÇÕES PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE
SUBSISTEMAS DE COBERTURA EM HABITAÇÕES
DE INTERESSE SOCIAL**

Porto Alegre, março de 2005

Prof.a Carin Maria Schmitt
Dr.a pela UFRGS
Orientadora

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD. pela Universidade de Sheffield / UK
Co-Orientador

Prof. Américo Campos Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Vanderley Moacyr John (USP)
Dr. c/ Livre Docência – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil

Prof^a. Karla Salvagni Heineck (PPGEC/UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof^a. Ana Luíza Raabe Abitante (PPGEC/UFRGS)
Dr. pela UFRGS

À Fernanda

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPQ pela bolsa de estudos que possibilitou a minha total dedicação aos meus estudos.

À minha família: minha mãe, meu pai e minha irmã.

A Fernanda, pelo apoio, alegria e motivação.

Agradeço a Professora Carin pela orientação, dedicação e estímulo.

Ao professor Sattler pela acolhida, pelos ensinamentos, pelos horizontes e perspectivas mais sustentáveis que me apresentou.

Ao professor Bonin, pelo acompanhamento, orientação, pelas conversas fundamentais para o crescimento deste trabalho.

Aos amigos que são ou foram do NORIE Aline Barroso, Daniel Pagnussat, Cristóvão, Tiago, Morello, César, Gustavo Oliveira, Flávia, Giane, Márcia Sperb, Fernanda Moscarelli, Ana Rosa, Renato, Marcelo, Denise, Fábio Schramm e Nagui.

Aos amigos cearenses em Porto Alegre, Mara, Raquel, Fábio, Karol, Luciana e Gustavo.

Enfim, viver não é apenas difícil, é quase impossível, mormente naqueles casos em que, não estando a causa à vista, nos esteja interpelando o efeito, se ainda esse nome lhe basta, reclamando que o expliquemos em seus fundamentos e origens, e também como causa que por sua vez já começou a ser, porquanto, como ninguém ignora, em toda esta contradança, a nós é que compete encontrar sentidos e definições, quando o que nos apeteceria seria fechar sossegadamente os olhos e deixar correr um mundo que muito mais nos vem governando do que se deixa, ele, governar

José Saramago

RESUMO

OLIVEIRA, D.P. **Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subsistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social**. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Este trabalho se enquadra na área de estudo da construção sustentável, especificamente em sua dimensão ambiental, com o objetivo de contribuir para a avaliação ambiental de produtos da construção. Para tanto, se propõe estabelecer uma estrutura de avaliação, delimitada para a subsistemas de cobertura para habitações térreas de interesse social, e entendida como um passo inicial para o desenvolvimento de um método de avaliação consolidado. Para o desenvolvimento de tal estrutura, buscou-se, em revisão bibliográfica, embasamento nos sistemas existentes no contexto internacional, bem como a identificação de potencial e limitações que esse tipo de avaliação encontra no contexto brasileiro. Mais ainda, tomou-se a abordagem de desempenho funcional como referência para a avaliação ambiental. O resultado do trabalho é a proposição de uma estrutura constituída por onze critérios que se enquadram em três categorias de aspectos ambientais: consumo de recursos naturais, disposição de resíduos e qualidade do ambiente interno. Esta estrutura foi utilizada para a avaliação de dois subsistemas alternativos para um protótipo habitacional de interesse social. Os resultados são apresentados na forma de um perfil de desempenho, e possibilitam mais do que a simples comparação dos dois subsistemas em função do rol de critérios adotados. A partir deles, foi possível realizar considerações sobre questões relevantes para a avaliação ambiental. A primeira delas, que resultados desagregados e dispostos na forma de perfil de desempenho proporcionam vantagens na forma de robustez e simplicidade na interface com o usuário da estrutura. A segunda consideração é que o uso de tal ferramenta constitui um avanço para a melhoria da tomada decisão, permitindo que um número maior de critérios seja processado, bem como explicitando os pontos fortes e fracos de cada subsistema. E, por fim, considera-se que, mesmo sendo simplificada em face às limitações contextuais brasileiras, a estrutura pode, desde já, proporcionar melhorias ambientais para subsistemas de cobertura, podendo ainda ser extrapolada para outros usos e aperfeiçoada.

Palavras-chave: desempenho ambiental; impacto ambiental; construção sustentável.

ABSTRACT

OLIVEIRA, D.P. Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social. 2005. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Contributions to the environmental assessment of roofing subsystems of low-cost housing

This research is about sustainable construction, specifically in its environmental dimension, with the main objective of contributing to the environmental evaluation of construction products. In this sense, an evaluation framework is proposed, initially limited to the evaluation of roofing subsystems for low cost housing, and understood as an initial step towards the development of a consolidated evaluation method. For the development of the framework, a literature review was carried out in order to establish theoretical reference of existing systems in the international context, as well as identifying the potential and boundaries of this kind of evaluation in the Brazilian context. The result of this research was the proposition of a framework that consists of 11 criteria that can fit into 3 categories of environmental aspects: natural resources consumption, waste disposal, and indoor quality. This framework was used for the evaluation of two alternative subsystems for a low-income housing prototype. The results are presented in an environmental profile, in which it is possible to carry out more than just a simple comparison of the two subsystems, according to the chosen criteria. From the results, a few conclusions were identified related to relevant environmental evaluation issues. The first was that the unaggregated results, shown in a performance profile, presents many advantages related to the simple and robust interface with the framework's user. The second conclusion is that the use of such framework represents an advance for the improvement of decision-making, permitting the processing of a larger number of criteria, as well as pointing out each subsystem's strong and weak points. Finally, it is considered that, although simplified in relation to the Brazilian context, the framework can promote environmental improvement for roofing subsystems, with a capability of being perfected improved and extended for to other uses.

Key-words: environmental performance, environmental impact, sustainable construction, low-cost housing.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	p.16
1.1 CONTEXTO	p.16
1.2 JUSTIFICATIVA	p.18
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO.....	p.29
2 MÉTODO DE PESQUISA	p.20
2.1 OBJETIVOS	p.20
2.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL	p.20
2.1.2 OBJETIVO SECUNDÁRIO	p.20
2.2 PRESSUPOSTOS	p.21
2.3 DELIMITAÇÕES	p.21
2.4 DELINEAMENTO	p.22
2.4.1 Revisão bibliográfica	p.22
2.4.2 Conceitos e questões de base	p.23
2.4.3 Levantamento de dados	p.23
2.4.4 Definição da estrutura de avaliação	p.24
2.4.5 Aplicação da estrutura	p.24
2.4.6 Modelo de sistema de avaliação	p.24
3 O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A SUSTENTABILIDADE	p.25
3.1 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	p.25
3.2 IMPACTOS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO	p.26
3.3 QUESTÕES, REQUISITOS E CRITÉRIOS AMBIENTAIS NO PDP.....	p.31
3.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL	p.33
3.5 ABORDAGEM DE DESEMPENHO FUNCIONAL.....	p.34
3.6 SUBSISTEMAS DE COBERTURA NA PERSPECTIVA DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	p.36
4 SUBSÍDIOS PARA A ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL	p.38
4.1 Impactos ambientais	p.38
4.2 sistemas de avaliação ambiental para produtos da construção no contexto internacional.....	p.46
4.2.1 Sistemas de classe 1	p.49
4.2.2 Sistemas de classe 3	p.52
4.3 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL: ESTRUTURA GENÉRICA.....	p.54
4.3.1 Definição de meta e escopo	p.55

4.3.2 Definição de fronteiras	p.58
4.3.3 Definição de critérios	p.60
4.3.4 Apresentação dos resultados.....	p.63
4.4 IMPLICAÇÕES DO USO DE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES.....	p.65
4.5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO BRASILEIRO	p.67
5. DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO	p.71
5.1 DEFINIÇÕES INICIAIS	p.71
5.2 CRITÉRIOS AMBIENTAIS	p.78
5.2.1 Uso de recursos	p.81
5.2.1.1 Uso de recursos materiais	p.81
5.2.1.2 Aportes energéticos para processos de manufatura	p.90
5.2.1.3 Aportes energéticos para transporte	p.95
5.2.1.4 Recursos energéticos para uso da edificação	p.96
5.2.2 Geração de emissões e resíduos	p.98
5.2.2.1 Emissões decorrentes dos aportes energéticos para processos	p.100
5.2.2.2 Emissões aéreas de gases de efeito estufa decorrentes dos processos de manufatura	p.104
5.2.2.3 Emissões de CO ₂ decorrentes do transporte de materiais	p.106
5.2.2.4 Geração de resíduos e emissões	p.108
5.2.2.4.1 <i>Resíduos sólidos industriais</i>	<i>p.109</i>
5.2.2.4.2 <i>Resíduos da construção e demolição</i>	<i>p.111</i>
5.2.2.4.3 <i>Disposição final de materiais de construção e demolição.....</i>	<i>p.113</i>
5.2.2.4.4 <i>Reutilização e reciclagem de materiais e componentes</i>	<i>p.114</i>
5.2.3 Qualidade do ambiente interno	p.118
5.2.3.1 Conforto térmico do ambiente interno	p.118
5.2.3.2 Qualidade do ar interno	p.121
5.3 CONSIDERAÇÕES	p.125
6 APLICAÇÃO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO	p.126
6.1 INTRODUÇÃO	p.126
6.2 SELEÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SUBSISTEMAS AVALIADOS	p.127
6.3 LEVANTAMENTO DE DADOS	p.129
6.4 CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS	p.135
6.4.1 Restrição ao uso de recursos escassos	p.135
6.4.2 Incorporação de recursos reaproveitados.....	p.136

6.4.3	Uso de madeira nativa não certificada	p.137
6.4.4	Conteúdo energético de fontes impactantes	p.138
6.4.5	Consumo energético e emissões decorrentes do transporte RODOVIÁRIO.	p.140
6.4.6	Emissões de resíduos tóxicos	p.142
6.4.7	Reaproveitamento de materiais	p.143
6.4.8	Desempenho térmico	p.144
6.5	AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	p.146
6.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA ESTRUTURA	p.152
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	p.155
	REFERÊNCIAS	p.160

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: desenho da pesquisa.....	p.22
Figura 2: relação entre questões ambientais e especificações de projeto.....	p.32
Figura 3: escalas de produtos na delimitação das fronteiras de um estudo de avaliação ambiental.....	p.34
Figura 4: relação da ecosfera e tecnosfera segundo o modelo de Holmberger.....	p.39
Figura 5: modelo da tecnosfera.....	p.40
Figura 6: ciclo aberto de produção, distribuição e consumo dos bens na sociedade....	p.40
Figura 7: ciclo semifechado de produção, distribuição e consumo dos bens na sociedade.....	p.40
Figura 8: modelo proposto das relações entre uma edificação e o meio ambiente ao longo do ciclo de vida daquela.....	p.41
Figura 9: diferentes níveis de impactos e o ciclo de vida de produtos da construção.....	p.44
Figura 10: escalas e receptores de impactos ambientais.....	p.45
Figura 11: precisão do conhecimento sobre materiais e componentes de edificações.....	p.51
Figura 12: estrutura genérica de sistemas de avaliação em relação ao processo de tomada de decisão e ao meio ambiente.....	p.55
Figura 13: etapas e agentes envolvidos no PDP da Construção Civil.....	p.57
Figura 14: comparação hipotética de perfis de desempenho.....	p.64
Figura 15: delineamento do processo para a definição da estrutura de avaliação.....	p.71
Figura 16: modelo simplificado do fluxo de massa e energia de um subsistema de cobertura hipotético.....	p.77
Figura 17: delineamento do processo de definição de critérios.....	p.79
Figura 18: relação entre cargas e impactos ambientais.....	p.80
Figura 19: diferentes etapas geradoras de resíduos no ciclo de vida de edificações....	p.108
Figura 20: delineamento do processo de aplicação da estrutura de avaliação.....	p.127
Figura 21: planta do protótipo Casa Alvorada.....	p.128
Figura 22: foto do protótipo CA.....	p.129
Figura 23: detalhes do subsistema A.....	p.129
Figura 24: delineamento do fluxo simplificado de massa e energia do subsistema A	p.134
Figura 25: delineamento do fluxo simplificado de massa e energia do subsistema B	p.135
Figura 26: caracterização do critério de escassez dos insumos dos materiais utilizados nos subsistemas.....	p.136
Figura 27: massa de materiais sem conteúdo reaproveitado.....	p.138

Figura 28: percentual de madeira nativa não certificada.....	p.139
Figura 29: conteúdo energético de fontes impactantes.....	p.140
Figura 30: aportes energéticos para transporte de materiais.....	p.142
Figura 31: emissões de CO ₂ , em kg/MJ, em transporte.....	p.142
Figura 32: percentual da massa de materiais atrelados a resíduos classe 1 na sua produção ou disposição final.....	p.144
Figura 33: massa de materiais com potencial de reaproveitamento nulo ou baixo por unidade funcional.....	p.156
Figura 34: coeficiente global de transmitância térmica dos subsistemas em W/m ² .K..	p.146
Figura 35: fator de calor solar subsistemas de cobertura.....	p.147
Figura 36: perfil de desempenho de dois subsistemas de cobertura.....	p.149
Figura 37: comparação de valores hipotéticos de um critério sem requisição de faixas de desempenho.....	p.148
Figura 38: comparação de valores hipotéticos de um critério em relação a uma faixa de desempenho.....	p.148
Figura 39: relação dos critérios caracterizados aos impactos do escopo da estrutura de avaliação.....	p.152
Figura 40: possibilidades de desenvolvimento da estrutura apresentada.....	p.156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: exemplos de cadeia de causa e efeitos para edificações.....	p.43
Quadro 2: exemplos de sistemas de avaliação, segundo a classificação de Trusty.....	p.49
Quadro 3: definição do objeto de análise em função do nível de interesse dos agentes envolvidos na tomada de decisão.....	p.58
Quadro 4: forma de seleção dos critérios de desempenho funcional.....	p.61
Quadro 5: caracterização de impactos, quanto à abrangência, reversibilidade, e fatores de caracterização.....	p.73
Quadro 6: condição de abundância de alguns recursos naturais e materiais de construção.....	p.83
Quadro 7: definição do critério sobre o uso de recursos escassos incorporados aos materiais.....	p.85
Quadro 8: classificação da adequação ambiental de alguns processos de reciclagem.	p.85
Quadro 9: definição do critério sobre uso de recursos reciclados ou reutilizados.....	p.87
Quadro 10: consumo de madeira industrial em toras Brasil/2000.....	p.88
Quadro 11: tipos de madeiras tradicionais e alternativas para usos na construção civil.....	p.89
Quadro 12: definição do critério sobre uso de madeira.....	p.89
Quadro 13: índice energético de materiais de construção.....	p.91
Quadro 14: vida útil de projeto para os diferentes elementos e componentes de cobertura da construção habitacional.....	p.93
Quadro 15: estimativa de vida útil para alguns materiais de construção.....	p.93
Quadro 16: definição de critério sobre aportes energéticos.....	p.94
Quadro 17: definição do critério para o consumo de energia e emissões para transporte.....	p.95
Quadro 18: gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.....	p.96
Quadro 19: emissões e impactos decorrentes da produção e uso de algumas fontes energéticas primárias.....	p.101
Quadro 20: emissões e impactos decorrentes da produção e uso de algumas fontes energéticas secundárias.....	p.102
Quadro 21: principais emissões de gases, com destaque para os de efeito estufa, relacionadas a materiais de construção.....	p.105
Quadro 22: fatores de emissões estimados para veículos pesados de transporte de carga a diesel da Europa.....	p.107
Quadro 23: resíduos sólidos da produção de alguns materiais de construção.....	p.110
Quadro 24: definição do critério sobre a presença de resíduos perigosos.....	p.110
Quadro 25: classificação de valores dos produtos recuperados.....	p.115

Quadro 26: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção.....	p.117
Quadro 27: definição do critério sobre o potencial de reaproveitamento.....	p.117
Quadro 28: transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de cobertura.....	p.120
Quadro 29: valores de albedo de materiais empregados em telhados.....	p.120
Quadro 30: definição do critério de conforto térmico.....	p.121
Quadro 31: materiais de aplicação interna e suas emissões poluentes.....	p.123
Quadro 32: quantitativos dos materiais da alternativa A.....	p.132
Quadro 33: caracterização da transmitância térmica do subsistema A.....	p.132
Quadro 34: estimativa de durabilidade e reposição dos materiais.....	p.132
Quadro 35: quantitativos dos materiais da alternativa B.....	p.133
Quadro 36: caracterização da transmitância térmica do subsistema B.....	p.133
Quadro 37: estimativa de durabilidade e reposição dos materiais.....	p.133
Quadro 38: caracterização dos materiais quanto à escassez.....	p.136
Quadro 39: caracterização dos materiais quanto ao reaproveitamento.....	p.138
Quadro 40: caracterização da madeira empregada nos subsistemas.....	p.139
Quadro 41: caracterização dos materiais quanto a fontes energéticas impactantes.....	p.140
Quadro 42: aportes energéticos para transporte de materiais.....	p.142
Quadro 43: caracterização dos materiais dos subsistemas quanto a presença de resíduos perigosos.....	p.143
Quadro 44: massa de materiais com potencial de reaproveitamento nulo ou baixo por unidade funcional.....	p.145
Quadro 45: caracterização dos valores de fator de calor solar dos subsistemas de cobertura.....	p.147

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: matriz energética para diversos setores da indústria brasileiro segundo dados relativos a análises de processos.....	p.103
Tabela 2: matriz energética para diversos setores da industria brasileiro segundo o Balanço Energético Nacional 2003 referente a produção anual do setor...	p.103
Tabela 3: perda de materiais em processos construtivos convencionais.....	p.111
Tabela 4: comparação entre conteúdos energéticos impactantes.....	p.151

1 INTRODUÇÃO

O capítulo de introdução busca situar o leitor no conteúdo desta dissertação, através da apresentação do contexto mais amplo na qual está inserida, bem como da justificativa do trabalho e da estrutura deste documento.

1.1 CONTEXTO

Desde a década de 70, em um contexto de crise de energia, há preocupações com relação ao desempenho ambiental de edificações, inicialmente, com enfoque na eficiência energética. Ao longo dos anos, a questão ambiental passou a ser mais abrangente, englobando outros aspectos, tais como consumo de materiais e disposição final dos mesmos. Finalmente, aspectos ambientais foram incorporados no escopo da construção sustentável, agregados, então, aos aspectos sociais e econômicos.

Desta forma, um trabalho contemporâneo, que trate exclusivamente de aspectos ambientais de produtos da construção, está situado no âmbito da sustentabilidade deste setor, mas restrito apenas a uma das dimensões atreladas a este conceito, sem considerar, portanto, os aspectos sociais e econômicos.

O estudo de sustentabilidade ambiental de produtos da construção, seja na escala dos materiais, componentes, subsistemas ou edificações como um todo, constitui uma área recente do conhecimento e, por vários motivos, complexa. Primeiro, porque a cadeia da Construção Civil é ampla e fragmentada, gerando uma gama de atividades e produtos difícil de ser englobada em um único estudo. Em segundo lugar, porque os empreendimentos desta cadeia reúnem um grande número de agentes com interesses os mais variados, convergentes ou divergentes, o que dificulta a tomada de decisão no desenvolvimento de produtos. E, por último, mas não menos importante, porque a introdução de aspectos ambientais ocorre sobre uma série de questões já consideradas na tomada de decisão, tais como custos e desempenho físico, tendendo, então, a aumentar os conflitos e complexidade já existentes.

Pode-se somar a isto o fato que aspectos ambientais estão ligados a cadeias de causa e efeito complexas e, ainda, mal compreendidas, mesmo em círculos acadêmicos que se dedicam a estudá-las sistematicamente. Desta forma, frente às incertezas relacionadas aos impactos ambientais das atividades humanas e, especificamente, às da Construção Civil, o cuidado com a preservação e proteção do meio ambiente constitui uma **precaução** para resguardar a qualidade de vida, desta e das gerações futuras, contra riscos desnecessários resultantes da exploração e alteração indiscriminada dos recursos e do meio ambiente.

A avaliação ambiental de produtos da construção, embora fundamental, deve ser entendida apenas como uma das atividades para a promoção da sustentabilidade da Construção Civil. Os resultados de avaliações ambientais podem ser úteis já em curto prazo, por estabelecer referências e caracterizar as práticas correntes da construção, com relação a impactos ambientais, criando possibilidades de um monitoramento contínuo para a busca da redução dos negativos e aumento dos positivos, em empreendimentos futuros. Entretanto, existem diversas limitações e desafios para o desenvolvimento de avaliações ambientais. Alguns estão relacionados à postura dos agentes envolvidos, refratários a implementação de modificações dos procedimentos e práticas correntes. Outros, vinculados a aspectos técnicos que, por sua vez, para serem superados, dependem de investimentos e estudos financiados por agentes do setor.

Tais agentes, em geral, não possuem conhecimento sobre aspectos ambientais, ou seja, sobre os impactos que suas atividades causam sobre os receptores finais. Por receptores finais entende-se os elementos biótico e abiótico do meio ambiente terrestre. Portanto, uma das tarefas desta área de estudo é estabelecer, para os agentes envolvidos, uma conexão clara e objetiva entre suas atividades e os respectivos potenciais de impacto ambiental.

A introdução de questões ambientais na tomada de decisão do desenvolvimento de produtos da construção, implica, também, na geração de requisitos ambientais, que serão, inevitavelmente acrescentados aos demais requisitos tradicionalmente considerados no Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP). Mas, enquanto forem menos compreendidos por estes agentes, terão a desvantagem de serem, possivelmente, preteridos quando confrontados com os demais. Desta forma, a avaliação ambiental deverá contribuir na tomada de decisão, por meio da explicitação das conseqüências potenciais de cada produto ou solução passível de ser introduzidos num projeto, levando a decisões, também, ambientalmente otimizadas.

No contexto brasileiro, bem como nos países em desenvolvimento, em geral, as limitações são redobradas, visto que a avaliação ambiental de produtos da construção ainda é incipiente, quando comparada a dos países desenvolvidos, mesmo considerando que esta última ainda está em desenvolvimento. Entretanto, este atraso tem, nos métodos e sistemas de países desenvolvidos, um atalho e uma referência para a criação de abordagens adaptadas aos contextos locais.

Ao longo deste trabalho são exploradas questões relativas a avaliação ambiental de produtos da construção, sendo, entretanto, delimitado o enfoque sobre um subsistema específico de uma habitação de interesse social. Isto ocorre como meio de simplificar a abordagem aqui empregada e adequá-la ao formato e exigências de uma dissertação de mestrado. Assim, ocorre a escolha do subsistema de cobertura, como objeto de estudo e avaliação ambiental, que constitui, em parte, uma decisão arbitrária. Por outro lado, havendo a necessidade de escolha, o subsistema selecionado deveria ter algumas características, tais como relevância e facilidade de caracterização frente às diversas partes da edificação, ou seja, ser facilmente caracterizado de forma isolada do restante da edificação e como um conjunto de materiais interconectados que atuam para atender funções bem definidas. Assim, o subsistema de cobertura, surgiu como uma escolha adequada como objeto de uma avaliação, esta, passível de ser, posteriormente, extrapolada e adaptada para outros subsistemas. Com relação ao tipo de edificação, habitações de interesse social, a decisão ocorre devido à relevância deste frente às necessidades brasileiras, bem como pela simplificação que tal escolha proporciona, em termos de complexidade construtiva, bem como no consumo de energia na etapa de uso

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa mais ampla do trabalho é a necessidade de desenvolvimento de ferramentas para caracterização e avaliação ambiental de produtos da construção de uso corrente no País. Para isto, a definição de uma estrutura de avaliação constitui uma das tarefas a serem realizadas. De uma perspectiva ambiental, tal estrutura pode contribuir para:

- a) possibilitar uma visão cientificamente embasada a respeito de questões ambientais relacionadas a produtos da construção, e que explicita e considere os requisitos a serem incluídos no processo de projeto;

- b) gerar uma linguagem que possa vir a ser um denominador comum para os tomadores de decisão, definindo o que é uma edificação ambientalmente sustentável, e quais critérios devem ser considerados em projeto para a redução dos impactos negativos e otimização dos positivos;
- c) reduzir cargas ambientais que causam impactos e alteram a qualidade de vida humana e de outros seres do ecossistema terrestre em escalas locais, regionais e globais;
- d) elevar a qualidade do conforto ambiental interno da edificação.

1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

Esta dissertação é dividida em sete capítulos, sendo este primeiro, o que traz a introdução ao tema de pesquisa, sua justificativa e esta apresentação da estrutura deste documento. O segundo capítulo apresenta o método de pesquisa, detalhando os objetivos principal e secundários, pressupostos, delimitações e seu delineamento.

O capítulo três, por sua vez, traz uma revisão bibliográfica para a contextualização do tema de pesquisa de forma mais abrangente. Nele são apresentados alguns conceitos básicos e aspectos contextuais necessários para o desenvolvimento das etapas posteriores. O capítulo quatro, também derivado de uma revisão bibliográfica, traz contribuições mais específicas para alcançar os objetivos estabelecidos, incluindo uma base conceitual sobre impactos ambientais de produtos e atividades da construção e de uma estrutura genérica de sistemas de avaliação ambiental. São relatados sistemas de avaliação no contexto internacional, e feitas considerações sobre a avaliação ambiental da construção no Brasil.

O capítulo cinco apresenta a estrutura de avaliação de impactos ambientais, focando a definição de critérios. Concomitantemente, é feito o levantamento dos dados necessários para a caracterização dos critérios definidos.

No capítulo seis, a estrutura proposta no capítulo cinco é aplicada na avaliação de duas alternativas de subsistemas de cobertura para uma mesma edificação com função habitacional de interesse social, denominada Casa Alvorada e projetada a partir de princípios de sustentabilidade. Por fim, o capítulo sete traz as considerações finais do trabalho e as sugestões para os trabalhos futuros.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo apresenta o método de pesquisa, destacando os objetivos, principal e secundários, pressupostos, delimitações e delineamento da pesquisa.

2.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são divididos em objetivos principal e secundários.

2.1.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a definição de uma estrutura de avaliação de impactos ambientais de subsistemas de cobertura, para uma habitação térrea de interesse social, adequada ao contexto brasileiro.

2.1.2 Objetivos secundários

Considerando-se o objetivo principal, os objetivos secundários deste trabalho são os seguintes:

- a) identificação dos critérios de avaliação ambiental, adotados no contexto internacional;
- b) caracterização das particularidades do contexto brasileiro, do ponto de vista ambiental, que interferem na definição de critérios;
- c) definição do modelo genérico de uma estrutura de avaliação;
- d) definição de diretrizes para criação de critérios e identificação de dados e procedimentos para a sua caracterização;
- e) elaboração de um protótipo de ferramenta simplificada para avaliação ambiental;

- f) aplicação da estrutura proposta, para comparação de dois subsistemas de coberturas alternativos para uma mesma edificação.

2.2 PRESSUPOSTOS

Os pressupostos deste trabalho são os seguintes:

- a) um subsistema de edificação gera, ao longo do seu ciclo de vida, impactos ambientais positivos e negativos, que podem ser caracterizados de forma qualitativa e quantitativa, por meio de critérios ambientais, para apoiar a tomada de decisão na etapa de projeto de edificações habitacionais;
- b) existem sistemas e critérios para caracterização e avaliação de impactos já desenvolvidos, mas a aplicação direta destes no contexto brasileiro não é possível;
- c) atualmente, no Brasil, são necessários critérios simplificados em função da indisponibilidade de dados para caracterização e avaliação ambiental;
- d) a estrutura proposta deverá utilizar dados disponíveis para que sua aplicação seja possível de imediato.

2.3 DELIMITAÇÕES

As delimitações deste trabalho são os seguintes:

- a) dentro do contexto mais amplo da sustentabilidade, o foco em questões ambientais consiste numa primeira delimitação deste trabalho;
- b) o trabalho se insere na área de estudo de avaliação ambiental, derivando, como resultado final, uma estrutura simplificada de avaliação e caracterização de impactos ambientais de subsistemas de cobertura, para apoio à tomada de decisão, mas excluiu procedimentos de normalização e ponderação, incorporados em alguns sistemas de avaliação já desenvolvidos;
- c) os critérios se destinam à caracterização de impactos, na escala de subsistemas da edificação, entendido como uma combinação de materiais com funções específicas;
- d) os subsistemas de cobertura, escolhidos para a aplicação dos critérios para caracterização de impactos neste trabalho, são característicos de habitações térreas de interesse social. Desta forma, os critérios apresentados nesta dissertação visam somente este subsistema neste tipo específico de habitação;

- e) o trabalho tem foco no produto a ser desenvolvido e suas características intrínsecas, concentrando-se na etapa de projeto, excluindo do seu escopo a gestão dos processos no contexto mais amplo de desenvolvimento do produto.

2.4 DELINEAMENTO

Os procedimentos deste trabalho estão estruturados conforme apresentado na figura 1 e detalhados nos próximos itens.

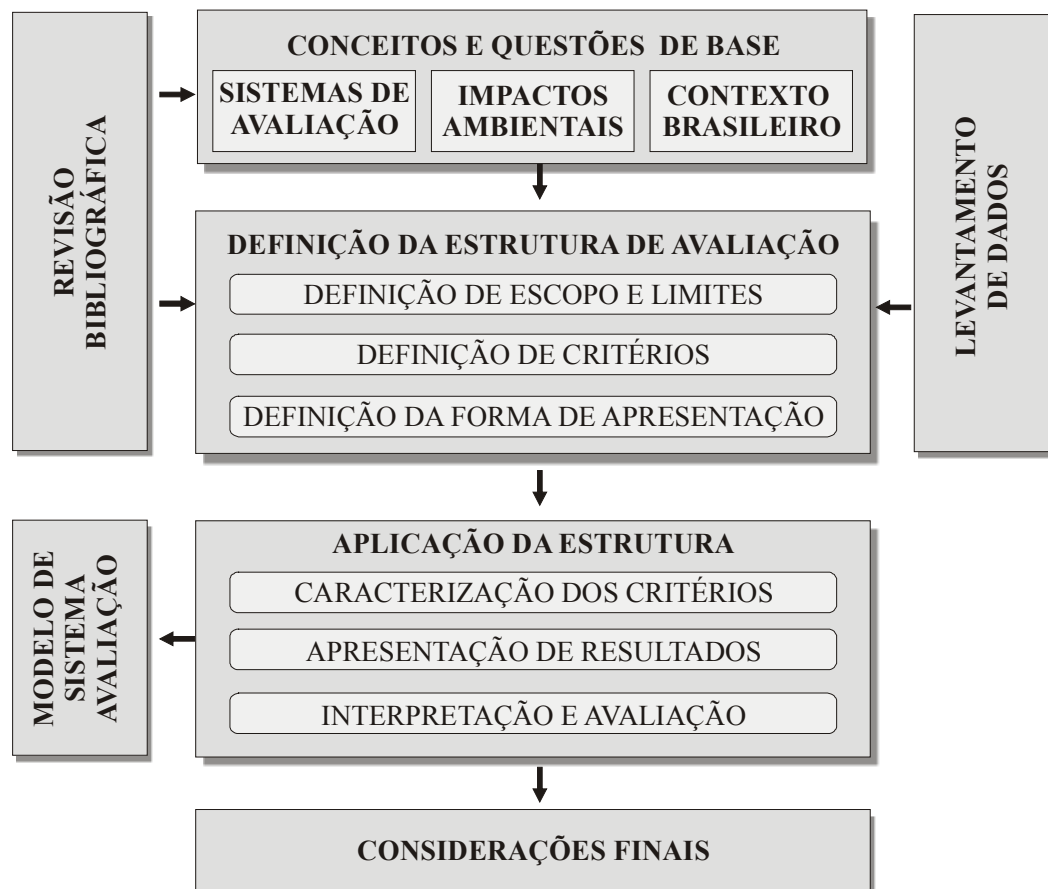


Figura 1: desenho da pesquisa

2.4.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica é o principal instrumento para o desenvolvimento desta dissertação, alimentando as duas etapas iniciais da mesma. A partir de uma revisão inicial, é delineado o contexto da pesquisa, explicitando e justificando os objetivos desta. Ao longo do trabalho,

questões específicas demandam a revisão de fontes bibliográficas, sendo possível estabelecer uma classificação das referências, quanto ao tipo de questão a que se referem, da seguinte forma:

- a) fontes gerais sobre desenvolvimento e construção sustentável;
- b) fontes específicas sobre: avaliação ambiental; impactos e mecanismos ambientais; e especificidades do contexto brasileiro. Estas três questões, reunidas, constituem o que se denominou de conceitos e questões de base;
- c) fontes de dados para a avaliação.

2.4.2 Conceitos e questões de base

Para a definição da estrutura de avaliação, a revisão bibliográfica ocorre sobre três tópicos:

- a) impactos ambientais;
- b) sistemas de avaliação existentes;
- c) contexto e especificidades do contexto brasileiro para avaliação ambiental.

Conforme dito anteriormente, a revisão bibliográfica constitui o principal instrumento para o desenvolvimento desta etapa.

2.4.3 Levantamento de dados

O levantamento de dados ocorre, necessariamente, a partir de fontes disponíveis e referenciadas na revisão bibliográfica. Isto porque parte-se do pressuposto de que a estrutura de avaliação proposta deverá ser baseada em dados disponíveis.

O levantamento de dados não ocorre concentrado em um único período, e sim ao longo da revisão bibliográfica. À medida que se verifica a existência de um dado relevante, considera-se a adequação deste aos critérios previamente estabelecidos para a seleção.

2.4.4 Definição da estrutura de avaliação

A definição da estrutura de avaliação ocorre com base nas informações, conceitos e dados reunidos nas etapas anteriores. Resulta, portanto, também, de uma revisão bibliográfica. São fundamentais as referências dos sistemas de avaliação ambiental existentes e de documentos específicos sobre sistemas de avaliação ambiental, dos quais se extrai o que se denomina estrutura genérica de um sistema.

2.4.5 Aplicação da estrutura

A aplicação da estrutura ocorre com a avaliação de dois subsistemas alternativos de cobertura para uma mesma edificação. A seleção da edificação é arbitrária, devendo apenas ser compatível com as delimitações do trabalho, ou seja, tratar-se de uma edificação térrea unifamiliar de interesse social.

2.4.6 Modelo de sistema de avaliação

A estrutura de avaliação apresentada e os dados levantados constituem subsídios suficientes para a elaboração de um modelo de ferramenta automatizada para avaliação ambiental, apresentada, então, com um produto secundário deste trabalho.

A ferramenta constitui uma seqüência de planilhas desenvolvidas em ambiente MICROSOFT EXCELTM, onde, a partir de dados de entrada de área coberta e de massa de materiais aplicados, é obtida a caracterização dos critérios incluídos na estrutura de avaliação.

Ressalta-se que a ferramenta constitui modelo, útil para o caso específico das duas alternativas avaliadas, para as quais os dados foram levantados.

3 O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL E A SUSTENTABILIDADE

Este capítulo trata de esclarecer como as atividades do setor da Construção Civil e os produtos resultantes estão relacionados à dimensão ambiental da sustentabilidade. Para tanto, parte-se da apresentação dos conceitos mais gerais que norteiam o trabalho, passando para a apresentação de uma base conceitual específica sobre questões ambientais, necessária para que se alcance os objetivos estabelecidos.

3.1 DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

O conceito de desenvolvimento sustentável surge na década de 70, focando, segundo Dalal Clayton (2003), o desenvolvimento econômico e o interesse crescente a respeito da relação entre metas de desenvolvimento e limitações ambientais. O Brundtland Report estabeleceu a definição clássica de desenvolvimento sustentável, como aquele que permite o atendimento das necessidades humanas atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações. O conceito evoluiu a partir desta primeira versão, passando a ter um escopo cada vez mais abrangente, extrapolando uma dimensão inicial, marcadamente ambiental, para englobar as dimensões sociais, econômicas e políticas.

Uma outra definição, apresentada por Plessis (2002), considera **desenvolvimento sustentável** não como uma meta, nem meramente um desenvolvimento que deve ser sustentado, mas um **processo** de manutenção de um balanço dinâmico entre as demandas por igualdade social, prosperidade e qualidade de vida e o que seja ecologicamente possível. Tal processo precisa ser implementado para que se alcance a **sustentabilidade**, que segundo a mesma autora, é a **meta** a ser atingida: consiste na condição, ou estado, que permite a existência contínua da espécie humana, ao mesmo tempo em que provê a vida segura, saudável, produtiva, em harmonia com a natureza e valorizando culturas locais.

A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento no Rio de Janeiro, em 1992, a Agenda 21 passou a ser um plano de ação para os diversos setores da sociedade, em busca de desenvolvimento sustentável. O capítulo 7 da Agenda 21 (*UNITED*

NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SOCIAL AFFAIRS, 1992) se refere, especificamente, ao desenvolvimento sustentável de assentamentos humanos, o que induziu, posteriormente, à criação, na Conferência das Nações Unidas de 1996, em Istambul, da **Agenda Habitat**: um desdobramento da Agenda 21, que passou a ser um documento de referência para desenvolvimento sustentável de assentamentos humanos. Estes, são cidades, vilas ou comunidades que (PLESSIS, 2002):

- a) permitem aos integrantes viver de maneira a promover a sustentabilidade e os princípios de desenvolvimento sustentável;
- b) possuam sistemas institucionais, sociais e econômicos que assegurem a sua existência.

A Agenda Habitat (*UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS*, 1996), por sua vez, traz referências ao setor da construção, colocando-o como um setor fundamental para o adequado desenvolvimento de assentamentos humanos. Uma breve análise dos impactos do setor da construção é apresentada no próximo item.

3.2 IMPACTOS DO SETOR DA CONSTRUÇÃO

O termo construção pode ter escopo variável. Sua definição mais abrangente é, segundo Plessis (2002), a de um amplo mecanismo para a realização de assentamentos humanos, abrangendo planejamento urbano, projeto, processos e atividades construtivas propriamente ditas.

A Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (2002, p. 11) refere-se ao setor da Construção Civil, especificamente para o contexto brasileiro, como particularmente importante para as dimensões ambientais, econômica e social da sustentabilidade, pois:

[...] além de representar uma considerável participação do Produto Interno Bruto (econômica) e ser responsável por uma expressiva parcela na geração de postos de trabalho (social), utiliza recursos naturais e sua atividade está diretamente relacionada ao meio ambiente, na medida em que interfere com a natureza ao realizar intervenções de grande impacto, tais como barragens, rodovias e edificações.

Em relação aos aspectos sociais, Silva (2003) afirma que a atividade de construção atende às necessidades básicas de moradia e infra-estrutura urbana, educacional e hospitalar. O problema habitacional é particularmente importante e, nesse sentido, a Agenda 21 (*UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SOCIAL AFFAIRS*, 1992) afirma que o acesso ao abrigo seguro e saudável é essencial para o bem-estar físico, psicológico, social e econômico e deve ser uma parte fundamental da ação, no plano nacional e internacional.

Segundo Plessis (2002), além de promover a sustentabilidade social, através da construção dos espaços, habitações e infra-estrutura, as atividades da construção podem colaborar para o alívio da pobreza. Isto porque requerem, principalmente em países em desenvolvimento, mão-de-obra de forma intensiva. No Brasil, o setor gerou, em 2002, cerca de 12,4 milhões de empregos diretos e indiretos (*CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO*, 2002). A vantagem de ser a Construção Civil o setor que mais emprega no mundo, é contraposta a desvantagem de estar relacionada, geralmente, à corrupção e práticas de trabalho injustas (PLESSIS, 2002).

No mesmo sentido, Wells (2003) aponta como um lado positivo da indústria da construção em países em desenvolvimento, o potencial de absorção de mão-de-obra de migrantes, provindos de regiões rurais, constituindo um portal de entrada para o mercado de trabalho. Entretanto, aponta, também, impactos negativos, relativos a acidentes de trabalho. Afirma que, mesmo em países desenvolvidos, estes chegam a alcançar de 20 a 40% de todos os acidentes de trabalho, sendo este índice potencialmente maior para países em desenvolvimento. Outros aspectos salientados são relativos à exposição a produtos e substâncias perigosas e a instabilidade e precariedade do vínculo empregatício.

A relevância econômica da Construção Civil está relacionada à participação que o setor da construção no PIB, que em 2004 foi de 7,3% (*INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA*, 2005). Deve-se considerar que este último percentual tende a ser significativamente maior quando incluído todo o macrosetor da construção. Também se considera relevante a capilaridade, isto é, a capacidade de infiltração e promoção da economia local, devida à grande fragmentação do setor e presença de microempresas.

Com relação às questões ambientais, diversos autores alertam para o fato de que as atividades do setor da Construção Civil possuem impactos significativos sobre o meio ambiente (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND*

CONSTRUCTION, 1999; PLESSIS, 2002; EDWARDS; BENNETT, 2003). Segundo John (2000), a cadeia produtiva da Construção Civil é uma das maiores da economia, a maior consumidora de recursos naturais, uma das mais poluentes, uma grande consumidora de energia e de água do mundo e, conseqüentemente, geradora de grande impacto. Horvath (2004) concorda que o setor é um grande consumidor de recursos materiais, energia e água, sendo, ainda, um grande poluidor. Entretanto, afirma que valores quantitativos deste consumo ainda são debatidos porque os dados sobre os impactos ambientais do ambiente construído não são sistematicamente coletados e analisados. Segundo este autor, a análise é complicada por se estender a uma miríade de componentes, infra-estrutura e estruturas sociais.

Segundo Plessis (2002), o impacto ambiental das atividades do setor da construção, em países em desenvolvimento é, provavelmente, maior que em países desenvolvidos. Isto ocorre tendo em vista a existência de carências que, para serem supridas por habitações e infra-estrutura, demandam grande quantidade de recursos naturais.

Para contemplar, especificamente, o problema da construção sustentável em países em desenvolvimento, uma iniciativa da *United Nations Environmet Programme* (UNEP) e do *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB) lançou, em 2002, a Agenda 21 para Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento (PLESSIS, 2002). Este documento veio complementar a Agenda 21 para Construção Sustentável, publicada em 1999, pelo CIB, mas com foco mormente em países desenvolvidos. Estes documentos, focados na construção sustentável, estabelecem base conceitual e as principais questões e desafios desta área.

De forma geral, embora o contraste entre os contextos de países desenvolvidos e em desenvolvimento determine diferenças na abordagem necessária para a construção sustentável, existem desafios comuns (PLESSIS, 2002). São exemplos disto, a introdução do conceito de sustentabilidade para agentes envolvidos no setor da construção e para a sociedade como um todo, a mobilização e gerenciamento de recursos para pesquisa e desenvolvimento e a melhoria do **desempenho ambiental** dos processos e produtos da construção.

Desempenho ambiental é definido como a capacidade mensurável de um produto para promoção da sustentabilidade do meio ambiente, através da restrição dos impactos ambientais negativos e da melhoria dos benefícios e conforto proporcionado pela edificação

(*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002). Ainda segundo esta última fonte, estes **impactos ambientais**, em relação a produtos da construção, constituem mudanças benéficas ou prejudiciais ao meio ambiente, parcial ou totalmente resultantes da produção de componentes, execução, operação, reforma e demolição de edificações. Por sua vez, os benefícios e conforto estão relacionados aos serviços que devem ser fornecidos por uma edificação aos seus usuários.

O conceito de construção sustentável surge, para o setor da construção, como um desdobramento do conceito de sustentabilidade, mas com abordagens e prioridades específicas, em função do contexto nacional ou regional no qual está sendo tratado. Segundo Plessis (2002), **construção sustentável** é um processo holístico, que busca restaurar e manter a harmonia entre o ambiente natural e o construído e criar assentamentos que assegurem a dignidade humana e estimulem a igualdade econômica. Segundo o CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999), a ênfase do termo construção sustentável tem sido nos impactos ambientais (recursos naturais, biodiversidade, tolerância da natureza), mas em alguns países, principalmente os países em desenvolvimento, pode ser necessário enfatizar questões sociais, econômicas e culturais, derivando um conceito mais abrangente.

De uma perspectiva focada em aspectos ambientais, John (2000) afirma que existem sinais claros de que o modelo de desenvolvimento baseado na extração maciça de recursos naturais, não se sustenta no longo prazo, sendo necessário um novo modelo em direção à construção sustentável. Ainda segundo o mesmo autor, não se poderá alcançar o desenvolvimento sustentável sem que a cadeia produtiva da construção sofra transformações significativas. Uma mudança de paradigmas deve ocorrer no sentido de incluir, em medida crescente, aspectos ambientais no processo de tomada de decisões. No mesmo sentido Horvath (2004) afirma que a indústria da construção deve, não apenas atender ao número crescente de normas e regulamentações ambientais, indo além da conformidade, mas adotar uma postura pró-ativa, internalizando o desempenho ambiental de forma semelhante ao que outras indústrias fizeram¹.

Existem, entretanto, barreiras para o desenvolvimento sustentável no setor da construção. Plessis (2002) aponta, dentre outros:

¹ Segundo Graedel e Allembly (2003, apud HORVATH, 2004) algumas indústrias, principalmente de veículos, de eletrônicos e de produtos químicos já fizeram progresso significativo para reduzir suas pegadas ecológicas. Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subsistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social

- a) falta de capacitação do setor da construção para a implementação de práticas sustentáveis, em termos de quantidade e qualidade dos recursos humanos;
- b) incertezas na dimensão econômica, uma vez que estas desestimulam investimentos de longo prazo em equipamentos e treinamento de recursos humanos para lidar com requisitos de sustentabilidade;
- c) lenta taxa de investimentos em urbanização, em relação ao rápido crescimento demográfico e metropolitano;
- d) falta de dados e informações abrangendo processos e políticas da construção;
- e) imersos em um processo de subserviência tecnológica, muitas vezes, países em desenvolvimento preterem tecnologias nativas e adaptadas às condições e recursos locais, em relação a tecnologias importadas;
- f) falta de pesquisa integrada, na medida em que a pesquisa e planejamento de tecnologias construtivas não é realizada de maneira holística, ocorrendo o trabalho desarticulado de instituições de pesquisa, agências de desenvolvimento e outras organizações.

Existe, portanto, necessidade de avanços relativos às três dimensões (ambiental, social e econômica) da construção sustentável. Mas, segundo Plessis (2002), é improvável que as três dimensões da sustentabilidade possam ser sempre igualmente fomentadas, pois existem requisitos conflitantes, que favorecerão uma em detrimento de outra, sendo necessário desenvolver um processo que busque balancear a solução para um ponto ótimo. Conseqüentemente, o setor da construção terá que ponderar critérios sociais, ambientais e econômicos para seguir na direção da sustentabilidade. Silva (2003) afirma que, no Brasil, devido à escassez de recursos financeiros e à grande demanda por construções para responder às necessidades básicas da população, os problemas financeiros tendem a suprimir os ambientais. Entretanto, a autora afirma que, ainda assim, é necessário equacionar as dimensões e buscar um equilíbrio entre a viabilidade econômica, que mantém as atividades e negócios, as limitações ambientais e as necessidades sociais.

A dimensão ambiental, possui um referencial teórico relativamente consolidado, visto que vem sendo desenvolvido no contexto dos países desenvolvidos deste a década de 70. Isto contribui para que este trabalho se concentre nesta dimensão, encontrando embasamento sobre os conceitos e ferramentas já estabelecidos.

As questões ambientais não são, entretanto, consideradas isoladamente no processo de desenvolvimento de um empreendimento da Construção Civil, o que pode ser visto dentro de um enfoque de gestão de requisitos, como apresentado a seguir.

3.3 QUESTÕES, REQUISITOS E CRITÉRIOS AMBIENTAIS NO PDP

O Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP), aplicado no âmbito da Construção Civil, envolve as atividades de projeto e execução, necessárias para o desenvolvimento de uma edificação ou outro tipo de obra de engenharia. Tal conceito permite uma visão mais integrada dos processos, ao longo do ciclo de vida de uma edificação, em relação à separação usual entre projeto e execução.

Segundo Ulrich e Eppinger (1995), o PDP compreende uma série de atividades necessárias para a concepção, projeto e produção de um produto, desde a identificação de uma oportunidade de mercado até a entrega ao cliente final. Entretanto, deve se atentar para o fato que a partir de uma perspectiva ambiental, pode ser necessário estender o escopo do conceito de PDP até o fim da vida útil das edificações, de forma que a disposição final e a reciclagem dos materiais sejam consideradas de forma sistemática.

Ao longo do PDP ocorre a geração e processamento de requisitos. Segundo Kamara et alli (2000), requisitos de clientes podem ser entendidos como os objetivos, expectativas, necessidades e desejos dos clientes, que, geralmente, são uma descrição de características e atributos que uma edificação deve apresentar para satisfazê-los. A captura dos requisitos está relacionada à transformação das necessidades e expectativas dos clientes em requisitos e especificações para o produto. Além dos requisitos especificados pelo cliente final, também devem ser identificados os requisitos necessários para o uso específico, bem como os requisitos regulamentares e técnicos relacionados ao produto. O controle do fluxo dos requisitos está relacionado ao monitoramento, refinamento e atendimento dos requisitos, ao longo do PDP.

Tradicionalmente, questões ambientais não são introduzidas nos PDP do setor da construção, visto que constituem um tipo de requisito que foi recentemente inserido na tomada de decisão (PLESSIS, 2002), passando a integrá-la juntamente a aspectos sempre ponderados, tais como custos e requisitos de desempenho físico. Huovila (1999), reforçando o que foi descrito por Plessis, indica que aspectos ambientais tendem a ser incorporados e transformar os conceitos que têm sido considerados nas decisões de projeto e construção. No mesmo sentido, Kotaji et alli (2003) afirmam que durante o projeto de um produto da construção ou edificação, as questões ambientais são apenas uma dentre as várias questões a serem consideradas, tais como técnicas, estéticas, funcionais, requisitos legais e de custos. Pearce (1998) atenta para

possíveis conflitos, quando da seleção de um material com desempenho ambiental diferenciado para uma determinada função, que pode apresentar conflitos com outros parâmetros, principalmente os econômicos.

Questões ambientais podem ser levantadas na forma de requisitos ambientais e introduzidas no PDP. Requisitos ambientais devem ser entendidos, neste trabalho, como aqueles que, uma vez introduzidos no processo e implementados na forma de especificações de projeto, proporcionam a otimização do desempenho ambiental de uma edificação. A introdução de tais requisitos tende a aumentar o fluxo de informações, o número de *trade-offs*² e a complexidade do processo. A identificação de requisitos ambientais pode derivar de normas, dispositivos legais ou expectativas dos clientes finais ou intermediários. Uma vez capturados os requisitos ambientais, podem ser gerados critérios para embasar as decisões de projetos e *trade-offs*. Em última instância, os critérios ambientais deverão contribuir para as especificações de projeto (figura 2).

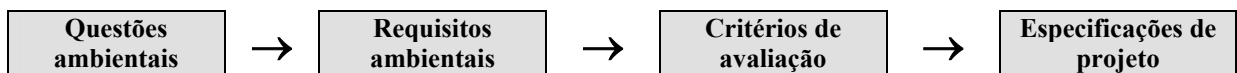


Figura 2: relação entre questões ambientais e especificações de projeto

A otimização dos requisitos ambientais a serem atendidos será possibilitada pela máxima captura dos mesmos no início do processo e pelo seu processamento adequado. Isto porque, segundo Koskela (2000), no ciclo de troca entre requisito e valor, existem, pelo menos, três problemas que costumam ocorrer:

- a) a captura dos requisitos não é perfeita;
- b) os requisitos são perdidos ou não considerados;
- c) a transformação no projeto não é otimizada.

Portanto, também na questão ambiental, os critérios adotados em projeto, devem refletir os requisitos necessários para garantir um bom desempenho do produto final. Para tanto, devem responder ao máximo de requisitos ambientais possíveis de serem identificados, considerando-se, ainda, que a identificação e processamento destes requisitos ao longo do PDP envolve aspectos subjetivos, assim como ocorre para os demais requisitos.

² *Trade-offs*: escolhas realizadas ao longo do PDP onde questões conflitantes são analisadas e comparadas, sendo uma preferida. Por exemplo, aspectos de custo e seleção tecnológica, ou ambientais e de custo.

3.4 AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Existem vários campos de atuação e iniciativas possíveis para o desenvolvimento da dimensão ambiental da Construção Sustentável. É possível, por exemplo, pensar em termos de inovação de processos industriais para produção ambientalmente mais sustentável, implantação de educação ambiental e transmissão de conhecimentos sobre técnicas e tecnologias limpas e de desenvolvimento de meios de avaliar e reconhecer os impactos ambientais dos processos e dos produtos da construção (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999).

A caracterização e avaliação de impactos ambientais de produtos da construção são dispositivos facilitadores delegados aos agentes de pesquisa e desenvolvimento em busca da construção sustentável. Segundo Plessis (2002), sistemas de avaliação são classificados como tecnologias leves, que dão suporte à tomada de decisão, monitoramento, avaliação e auxílio no gerenciamento da informação e do conhecimento, necessários para a melhoria dos aspectos ambientais e da sustentabilidade dos produtos. Dentro do horizonte de curto prazo, podem promover o esclarecimento do estágio atual e de referência para a otimização de questões relacionadas (PLESSIS, 2002):

- a) ao ambiente construído;
- b) aos processos de construção;
- c) à capacitação do setor da construção, incluindo os profissionais envolvidos nos processos;
- d) ao ciclo de vida e propriedades de materiais e técnicas construtivas.

A avaliação de produtos, relativa à construção sustentável, pode ser classificada em função da escala do produto avaliado, conforme a figura 3.

Nos vários sistemas de avaliação ambiental de edificações ou materiais de construção existentes, há critérios já definidos, mas que não refletem, necessariamente, a agenda ambiental brasileira (SILVA, 2003). Assim, embora se possa contar com sistemas e critérios de avaliação ambiental existentes, como referência para o desenvolvimento deste trabalho, não é possível adotá-los diretamente no contexto brasileiro.

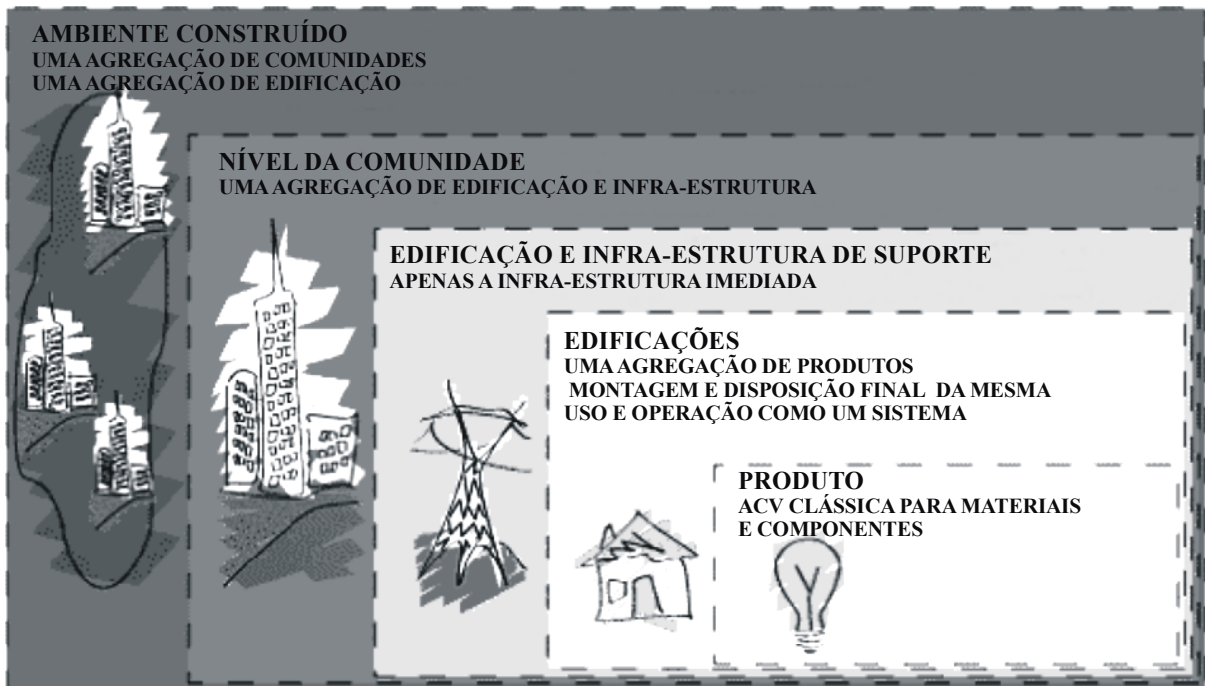


Figura 3: escalas de produtos na delimitação das fronteiras de um estudo de avaliação ambiental (adaptado de IEA ANNEX 31, 2001d)

A avaliação ambiental pode encontrar na abordagem de desempenho funcional uma referência conceitual: muitos problemas hoje enfrentados pelos métodos e sistemas de avaliação na abordagem ambiental ocorreram de forma similar no desenvolvimento da abordagem de desempenho. Por exemplo, a dificuldade de definição de critérios, seja pela complexidade dos mesmos, seja pela dificuldade em mensurar os fenômenos envolvidos no processo. Desta forma, uma visão sobre a abordagem de desempenho funcional pode colaborar para a estruturação de um sistema de avaliação ambiental, sendo, portanto, apresentada na seção seguinte.

3.5 ABORDAGEM DE DESEMPENHO FUNCIONAL

Segundo o CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982), a abordagem de desempenho nada mais é que a aplicação do método científico e da análise rigorosa, para o estudo do funcionamento de edificações e suas partes, e implica em:

- a) reunir um conjunto de dados e requisitos, proveniente de vários clientes do projeto como um todo, colocando-os de forma sistemática;
- b) estender a abrangência da análise quantitativa aos aspectos de desempenho previamente considerados;
- c) definir claramente os objetivos do projeto;
- d) buscar prova de conformidade com os requisitos, através de métodos de ensaio e avaliação;
- e) definir métodos de avaliação e de pesos, a serem aplicados aos aspectos individuais de desempenho, para dar uma medida da qualidade geral.

Em oposição à abordagem de desempenho está a abordagem prescritiva. Esta institui a prática de definir e especificar itens que devem ser incorporados como forma de atender a requisitos nem sempre explícitos. Na abordagem prescritiva, os produtos especificados tendem a ser os que tradicionalmente atendem às necessidades dos clientes³. Novos produtos são descartados ou vistos com desconfiança porque não há como certificar sua eficácia ou mesmo porque os códigos e normas prescritivos, acabam por impedir a incorporação de produtos inovadores.

Segundo o CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982), trabalhar com uma abordagem prescritiva é, provavelmente, mais simples que trabalhar com critérios de desempenho, mas constitui uma barreira para a obtenção de soluções mais eficientes e econômicas para questões relacionadas às edificações. Silva (2003) afirma que os sistemas de avaliação de sustentabilidade de edificações adotam, em maior ou menor grau, abordagens prescritivas. A mesma autora indica, ainda, que a evolução dos sistemas, para adotar critérios de desempenho ambiental, constitui uma forma de melhorar a qualidade das análises, tornando-as mais confiáveis.

De forma geral, embora não exista uma relação claramente estabelecida pela bibliografia entre aspectos de desempenho físico e desempenho ambiental, verificou-se que:

- a) a metodologia adotada pela abordagem de desempenho, extrapolada para a avaliação ambiental, constitui uma referência para a superação de limitações existentes devido à inclusão de critérios prescritivos;
- b) a abordagem de desempenho poderá embasar a comparação de desempenho ambiental entre alternativas de produtos da construção baseada em múltiplos critérios, delineando um perfil de desempenho desejável, e apontando as alternativas que se enquadram dentro de uma faixa de desempenho requisitada;

³ Cliente: o conceito aqui empregado abrange todos os envolvidos no processo de produção e etapa de uso.
Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subsistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social

- c) a abordagem de desempenho funcional, poderá, também, colaborar para uma avaliação ambiental, já que permite avaliar aspectos que, na tomada de decisão, são confrontados com aspectos ambientais;
- d) o método de seleção de critérios para a avaliação conforme sugerido pelo CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982), se aplicado para a avaliação ambiental, permite uma referência para a determinação de diretrizes para a seleção de critérios ambientais;
- e) a avaliação, com base em perfis e faixas de desempenho, pode ser uma solução para a complexidade da análise de múltiplos critérios ambientais.

Desta forma é possível relacionar a avaliação ambiental com a avaliação de desempenho funcional, de certa forma, complementando a definição do termo **desempenho ambiental** ou perfil de desempenho ambiental, encontrada em algumas referências (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002; HOWARD et alli, 1999).

A normalização brasileira específica para o desempenho funcional de edificações encontra-se ainda em desenvolvimento, na forma do Projeto de Norma 02:136.01, desenvolvido pela Comissão de Estudo CE 02.136.01 - **Desempenho de Edificações**. Especificamente sobre Coberturas, deve-se mencionar o texto **Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 5: coberturas**, do mesmo Projeto de Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002d). Este último define como requisitos de um subsistema de cobertura o (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002d):

- a) desempenho estrutural;
- b) segurança contra incêndio;
- c) estanqueidade;
- d) desempenho térmico;
- e) desempenho acústico;
- f) funcionalidade e acessibilidade;
- g) durabilidade e manutenibilidade.

3.6 SUBSISTEMAS DE COBERTURA NA PERSPECTIVA DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Agopyan (1998), numa abordagem econômica, afirma que a importância do subsistema de cobertura deve-se ao fato do peso de seu custo ser muito maior em habitações populares do que em edificações de padrões mais elevados, chegando até a 20% do preço total da habitação. Do ponto de vista de desempenho térmico e funcional, segundo Lamberts (1983; 1988), o subsistema de cobertura é a parte da edificação que maior influência sofre das agressões climáticas externas. Por essa razão é o elemento que exerce maior influência no condicionamento climático interno da edificação. Entretanto, o autor destaca que se trata de um elemento usualmente negligenciado, do ponto de vista do desempenho térmico. No mesmo sentido, Ferreira (1998) afirma que as restrições econômicas são relevantes na seleção de subprodutos e materiais para coberturas residenciais.

Segundo o CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IIN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 2001), em documento elaborado pelo comitê conjunto CIB W083/ILEM 166-MRS, denominado Comitê de Sistemas e Materiais de Telhados, o termo coberturas sustentáveis (no inglês: “*sustainable roofing*”) refere-se ao subsistema que é projetado, construído, mantido, reformado e demolido com ênfase, ao longo do seu ciclo de vida, no uso eficiente de recursos naturais e na preservação do meio ambiente global. Aponta ainda, a mesma referência, três áreas chave que reúnem os princípios que caracterizam um subsistema de cobertura sustentável:

- a) minimizar os danos ao meio ambiente;
- b) conservar energia;
- c) aumentar a vida útil do sistema.

Estes princípios são citados apenas para explicitar o tipo de preocupação que o CIB tem para com os subsistemas de cobertura, mas não foram utilizados, de forma direta, como diretrizes para a estrutura proposta por este trabalho.

4 SUBSÍDIOS PARA A ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Como forma de adquirir uma base conceitual para subsidiar a estruturação de um método de avaliação ambiental, objetivo deste trabalho, foi considerado importante buscar, na bibliografia, base conceitual sobre impactos ambientais e analisar sistemas de avaliação existentes. As seções seguintes apresentam os resultados desta pesquisa bibliográfica.

4.1 IMPACTOS AMBIENTAIS

Esta seção tem por objetivo apresentar uma base conceitual para orientar a seleção de critérios e caracterização de impactos ambientais. Apresenta-se uma abordagem teórica para explicar a forma como os processos envolvidos no ciclo de vida de produtos da construção acarretam impactos ambientais e para possibilitar uma visão sistêmica sobre as causas e os impactos resultantes.

Esta revisão poderia ser aplicada à produção de bens de consumo de forma geral, mas aqui são focados nos produtos da construção. Segundo o ISO CD 21930 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2004), produto da construção é um material, componente, kit ou sistema que é manufaturado para ser permanentemente incorporado em uma edificação. Neste trabalho, também a edificação será considerada um produto da construção. Portanto, se entende produto da construção, como o conjunto de materiais, componentes, subsistemas e edificações como um todo, vistos nesta ordem, em nível crescente de agregação e complexidade.

Os modelos conceituais sobre os impactos ambientais dos processos envolvidos no ciclo de vida de materiais de construção têm abrangência bastante variável. O modelo apresentado por Holmberg (1995 apud EDÉN et alli, 2003) relaciona duas dimensões: a tecnosfera e a ecosfera (figura 4). A primeira consiste em tudo que tenha sido construído pelo homem, tal como artefatos, cultura, instituições. A segunda, por sua vez, consiste em todos os recursos e sistemas existentes na natureza. A tecnosfera interfere na ecosfera através dos processos de manipulação da terra, água e ar, de emissões e de extrações de recursos. Este modelo é um

ponto de partida, sendo complementado por outros, que proporcionam um maior nível de detalhe sobre as relações entre as duas dimensões apresentadas.



Figura 4: relação da ecosfera e tecnosfera segundo o modelo de Holmberg (EDÉN et alli, 2003)

A IEA ANNEX 31 (2001d) também apresenta o conceito de tecnosfera, definido-o como o ambiente construído e adaptado pelo homem, que de um ponto de vista de modelagem, marca o início dos ciclos de massa e energia resultantes da intervenção humana (figura 5).

Segundo Lyle (1994) a produção de bens de consumo da sociedade, e por certo do ambiente construído, acontece por fluxos lineares, onde recursos são extraídos da natureza e resíduos são gerados e dispostos no meio ambiente, conforme representado na figura 6. Devido as grandes quantidades e volumes envolvidos nas extrações e emissões, o autor alerta para a possibilidade de colapso do sistema devido à possibilidade de falta de recursos e a impossibilidade de absorção de resíduos pelo meio ambiente.

Lyle (1994) coloca, ainda, o desenvolvimento sustentável como um antídoto para o padrão de desenvolvimento baseado em fluxos lineares e propõe o termo projeto regenerativo para expressar a abordagem de substituição de sistemas de fluxo linear por fluxo semifechado, conforme a figura 7. O sistema regenerativo proporciona a reposição contínua de recursos materiais e energéticos utilizados nos processos.



Figura 5: modelo da tecnosfera (IEA ANNEX 31, 2001d)

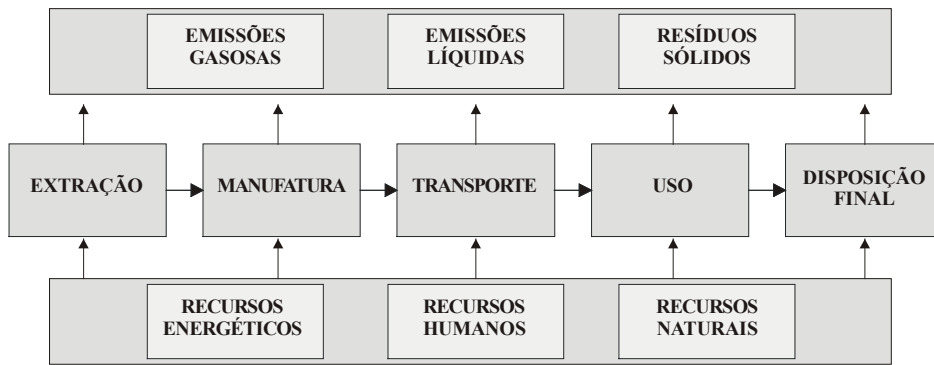


Figura 6: ciclo aberto de produção, distribuição e consumo dos bens na sociedade (adaptado de GRIGOLETTI, 2001)

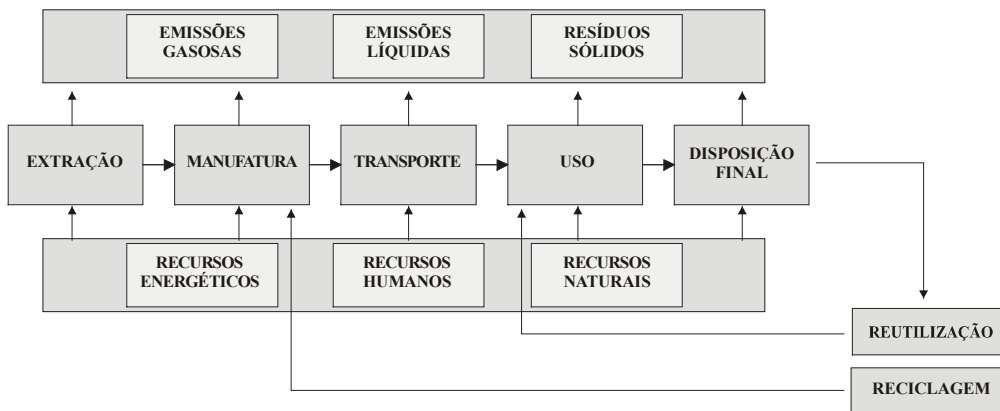


Figura 7: ciclo semifechado de produção, distribuição e consumo dos bens na sociedade (adaptado de GRIGOLETTI, 2001)

Embora o tipo de ciclo apresentado na figura 7, nunca chegue a ser totalmente fechado, devido a limitações, tais como as perdas inevitáveis nos processos e do número limitado de reciclagens para alguns produtos, a implementação de modelos semelhantes ao de ciclo semifechado permitirá avanços significativos na busca do desenvolvimento sustentável (JOHN, 2000).

O modelo proposto na figura 8 possibilita visualizar algumas relações entre o ciclo de vida de uma edificação e o ambiente externo, na forma de impactos ambientais possíveis de serem gerados nas diversas etapas.

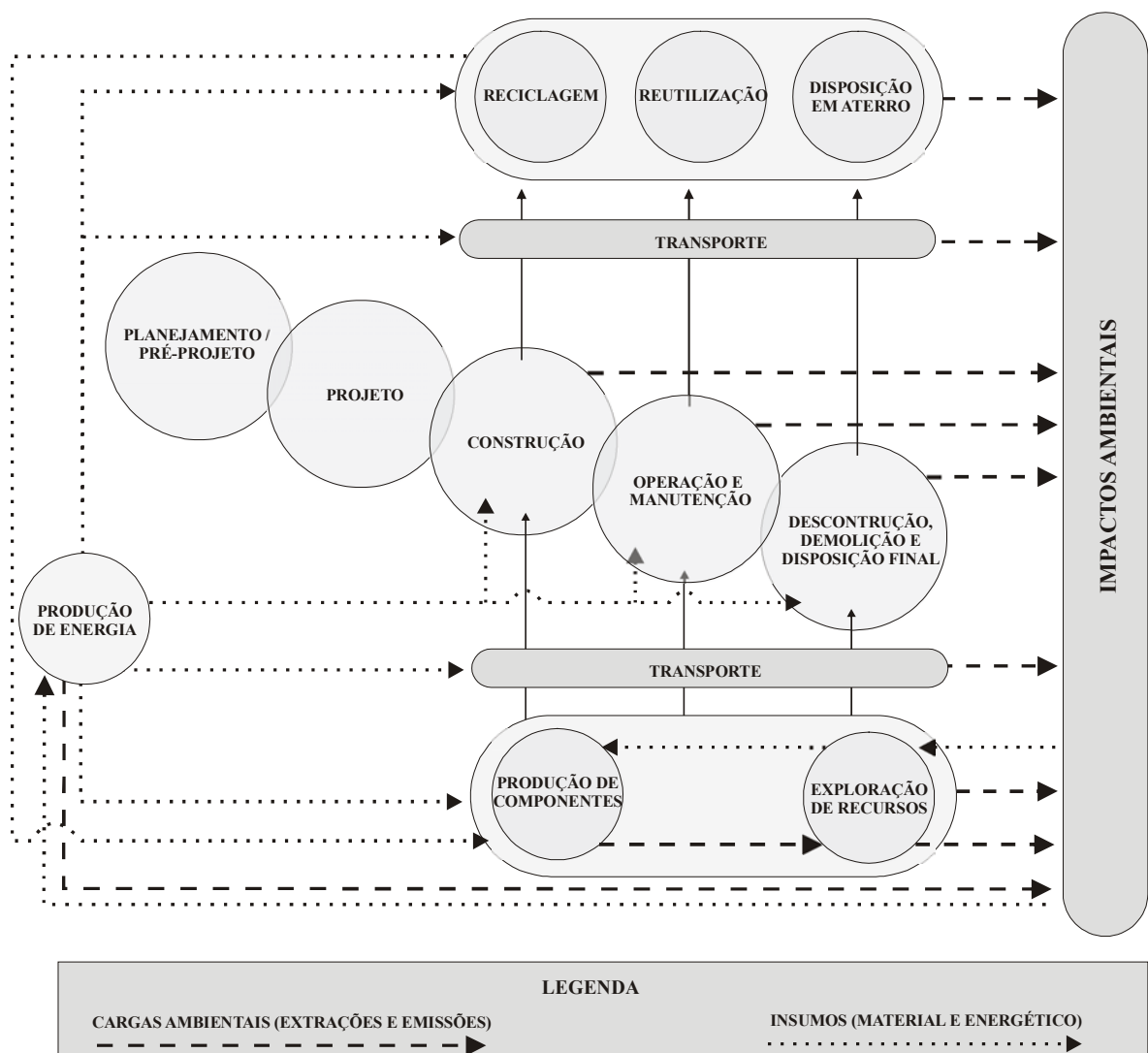


Figura 8: modelo proposto das relações entre uma edificação e o meio ambiente ao longo do ciclo de vida daquela

É importante ressaltar que todas as etapas apresentadas podem originar processos que causam impactos ambientais. A **abordagem de ciclo de vida**, segundo Lippiatt (2002), foi, então,

desenvolvida para possibilitar uma visão sistêmica das questões ambientais relacionadas a um determinado produto, partindo do princípio de que todas as etapas de sua vida geram impactos ambientais e devem ser analisadas. Segundo a UNEP (*UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME*, 2003), tal abordagem implica que todos os envolvidos na cadeia de processos do ciclo de vida de um produto, devem levar em conta os efeitos de suas atividades e decisões sobre o meio ambiente. A abordagem do ciclo de vida pode ser aplicada a metodologias de avaliação de desempenho ambiental com diferentes níveis de detalhamento, tais como a Análise do Ciclo de Vida (ACV) tradicional ou simplificada (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY*, 1997b) ou em sistemas de avaliação ambiental de edificações.

Em cada etapa do ciclo de vida apresentado na figura 8 existem processos físicos (transporte, transformações de matéria na manufatura), que representam o início de um mecanismo ambiental, entendido como o conjunto de variáveis e processos físicos, tais como extrações, emissões ou outros tipos de interações entre um sistema de produção e o meio ambiente que podem ser visualizados como uma **cadeia de causa e efeitos** (UDO DE HAES et alli, 1999; *UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME*, 2003).

O quadro 1 apresenta dois exemplos de cadeias de causa e efeito, onde os processos são fontes de cargas ambientais que, em última instância, vão gerar impactos, sendo possível identificar diferentes níveis ou instâncias de impactos intermediários sobre o meio ambiente. Uma fonte de impacto pode causar um fluxo ou carga ambiental (extrações de recursos naturais e emissões para o meio ambiente), que irá, por sua vez, gerar um efeito ambiental (transformação imediata no meio ambiente resultante de cargas ambientais) e, posteriormente, um impacto final (mudança no meio ambiente que atinge diretamente as condições de vida de seres vivos) (IEA ANNEX 31,2001d).

	Exemplo 1	Exemplo 2
Fonte	combustão em Boiler Doméstico	tráfego Rodoviário
carga	emissão de CO2	pressão acústica nas fachadas das edificações
efeito	aumento do efeito estufa	elevação do nível de ruído interno de edificações
impacto de 1ª grau	aquecimento global e mudança climática	desconforto, estresse dos ocupantes
impacto de 2ª grau	elevação do nível do mar	distração, problemas de saúde
impactos finais	deslocamento de famílias	redução da eficiência econômica

Quadro 1: exemplos de cadeia de causa e efeitos para edificações
(IEA ANNEX 31, 2001d)

A interferência humana está no início desta cadeia, na forma como são definidos e executados os processos. No final da cadeia, os impactos finais gerados são as questões mais representativas para indicar o nível de alteração do meio ambiente pela atividade humana. O ideal seria poder indicar precisamente qual o impacto gerado por um processo, ou por todos os processos relacionados ao ciclo de vida de uma edificação. Entretanto, segundo a US EPA (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 2000) e Sagan (1998), prever as conseqüências reais da interferência humana sobre o meio ambiente é uma tarefa que ainda encontra limitações no conhecimento científico.

A dificuldade de caracterização, nos diferentes níveis, de uma cadeia de causa e efeito varia, sendo que, normalmente, é menor para uma carga ambiental, e maior para um impacto final. No nível das cargas ambientais, as caracterizações são mais fáceis e, possivelmente, mais precisas. Por exemplo, quantificar as emissões que causam o efeito estufa é um procedimento mais simples e possivelmente preciso, do que determinar, por meio de modelos, quais os impactos finais, por exemplo, em termos de deslocamento de famílias ou de extinção de espécies. Também a relevância de informações sobre os diferentes níveis da cadeia é diferente, sendo que os impactos no final da cadeia são os que mais interessam à sociedade (*UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME*, 2003), e os iniciais são menos significativos. Pode ser identificada, entretanto, a necessidade das avaliações se posicionarem em uma modelagem de avaliações nas posições iniciais de cargas e efeitos, pois são as que o estágio atual do conhecimento científico possibilita, sendo substituídas à medida que avanços científicos o permitam.

Mas, devido à complexidade das cadeias de causa e efeito envolvidas nos mecanismos ambientais, deve existir uma seleção de quais são os fenômenos e processos mais significativos. Estes processos selecionados são, portanto, os que devem ser incluídos nos estudos de impacto ambiental, reduzindo a complexidade da cadeia de causa e efeito para a construção de um modelo com níveis aceitáveis de complexidade.

A figura 9 apresenta os diversos níveis de impacto em relação às etapas do ciclo de vida dos produtos da construção. Todas as etapas geram cargas ambientais através de extração e emissões para o meio ambiente.

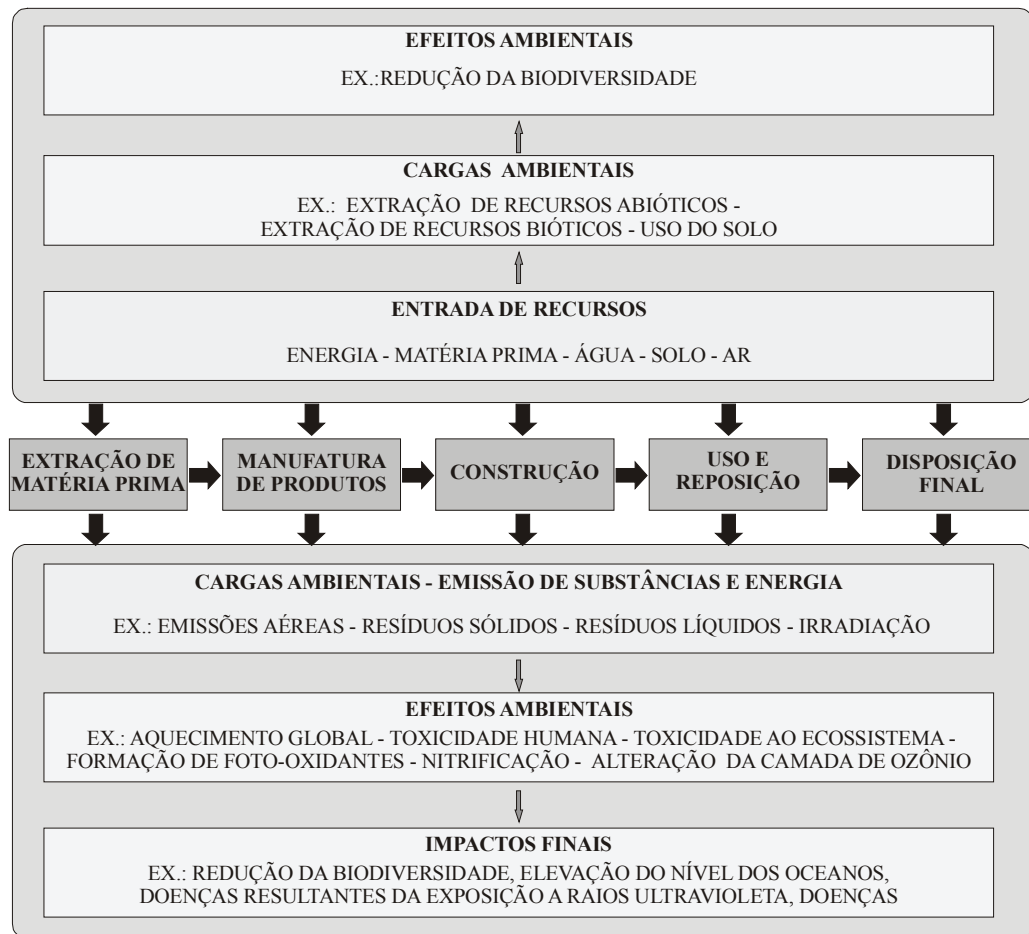


Figura 9: diferentes níveis de impactos e o ciclo de vida de produtos da construção (adaptado de IEA ANNEX 31, 2001c)

Os impactos ambientais ocorrem sobre diferentes receptores, tais como os seres humanos e demais animais, vegetais e ecossistemas. Além disto, um mesmo receptor pode estar sujeito a impactos em várias escalas: interior da edificação, cidade ou global. A figura 10 apresenta as diferentes escalas que estão relacionadas a impactos ambientais em função dos receptores. É importante, também, considerar a capacidade do receptor de suportar cargas ambientais, principalmente na escala regional e local, visto que determinada carga pode não ser crítica em uma escala global, mas poderá comprometer condições de vida local. Como as edificações são fontes permanentes de impactos para o ambiente local e interno, os receptores destas escalas não devem ser negligenciados.

No caso de uma edificação, entre uma fonte e os receptores, há uma rede complexa de causas e efeitos. Esta é relativamente mais complexa do que para produtos de consumo em geral, pois uma edificação resulta da combinação de um grande número de produtos (SILVA, 2003),

assim como depende de uma grande diversidade de agentes envolvidos no processo de projeto (KALAY, 1997).

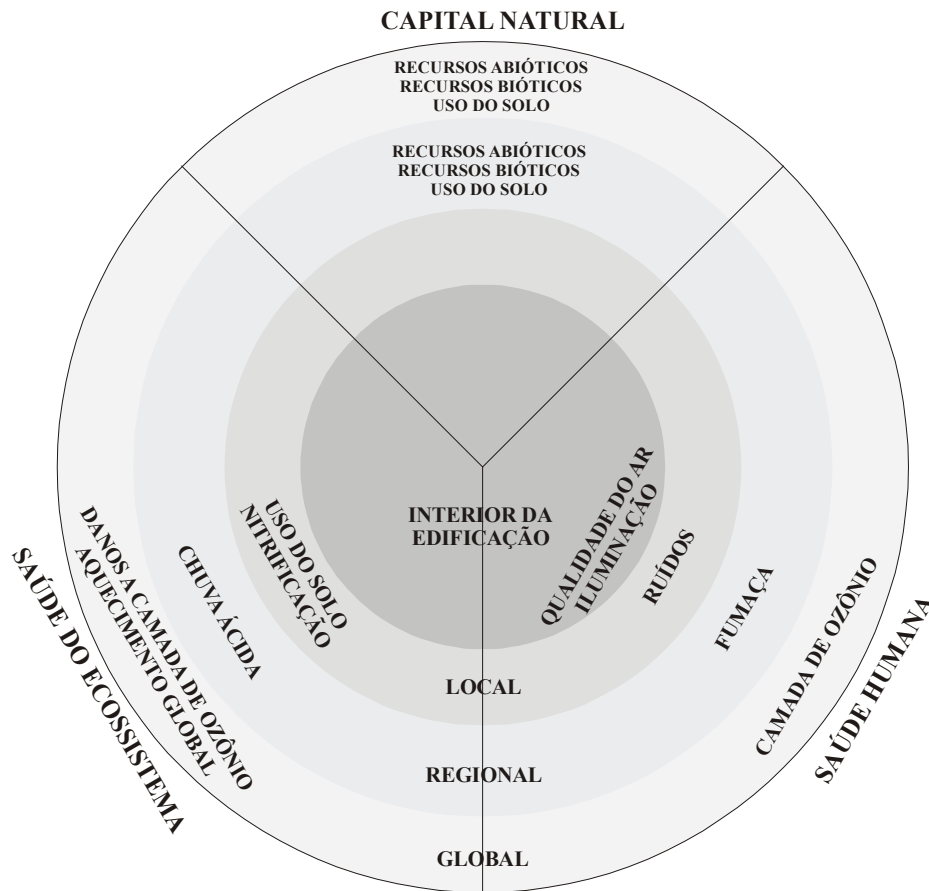


Figura 10: escalas e receptores de impactos ambientais (IEA ANNEX 31, 2001d).

Segundo Freitas et alli (2001), alterações ambientais podem ser caracterizadas e qualificadas por meio de quatro parâmetros básicos:

- a) magnitude: reflete a dimensão dos efeitos associados, podendo ser pequena, média ou grande;
- b) reversibilidade: reflete a possibilidade de cessar os efeitos decorrentes da alteração, sem adoção de medidas de mitigação, podendo ser total, parcial ou nula, ou seja, irreversível;
- c) duração: reflete a continuidade, no tempo, dos efeitos da alteração, sem considerar a adoção de medidas de mitigação, podendo ser curta (menos de 1 ano), média (entre 1 e 5 anos) ou longa (maior que 5 anos);

- d) abrangência: reflete o alcance, em área, dos efeitos da alteração, podendo ser pontual (interior da área do empreendimento), local (interior da área de influência direta) ou regional (excede a área de influência direta).

Segundo a USEPA (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 1998), o potencial ou a significância de um impacto pode ser relacionado:

- a) à alta sensibilidade dos receptores às cargas ambientais impostas;
- b) ao potencial de persistência de tais impactos;
- c) ao potencial de impactos secundários ou cumulativos.

A significância de um impacto deve ser, também, considerada em termos de tempo, de forma que à medida que a exposição e a frequência de exposição de um receptor a uma carga aumenta, também aumentam os impactos adversos. A principal preocupação é, então, evitar a perda de um recurso natural biótico ou abiótico importante ou de um dano irreversível à saúde humana ou para o meio ambiente.

4.2 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL PARA PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO NO CONTEXTO INTERNACIONAL

Utiliza-se, neste trabalho, o termo **sistema de avaliação** para se referir, de uma forma genérica, a métodos, ferramentas e instrumentos de avaliação. Esses termos possuem definições próximas, mas diferentes, quando dirigidos à avaliação de produtos. Graham (2000) define **método de avaliação ambiental** como regras de procedimentos cientificamente orientadas e destinadas à avaliação de produtos da construção segundo aspectos da sustentabilidade ambiental. **Ferramentas** são definidas pela IEA ANNEX 31 (2001f) como a interface entre uma estrutura analítica e um agente de tomada de decisão e, por Graham (2000), como o resultado da conversão de um método de avaliação para uma interface computadorizada, que permite a entrada de dados e retorna uma determinada informação para o auxílio à tomada de decisão. Ainda, para este último autor, **instrumentos** constituem procedimentos simplificados, geralmente na forma de uma lista de checagem ou de perfis de desempenho, que fornecem informações ao usuário para que, de forma passiva, decida sobre alternativas para uma determinada situação.

Segundo a IEA ANNEX 31 (2001d), a necessidade de tratar com a complexidade das cadeias de causa e efeito do ciclo de vida de produtos da construção estimula o desenvolvimento e uso de sistemas de avaliação. Estes, permitem simplificar e reduzir os esforços de avaliação, a medida em que incorporam dados, critérios e mecanismos de caracterização automatizados para a avaliação de produtos. Entretanto, é necessário estabelecer delimitações que simplifiquem os mecanismos ambientais reais a serem estudados, visto que são demasiadamente complexos para serem modelados detalhadamente em sistemas de avaliação.

Além da complexidade das cadeias de causa e efeito a serem estudadas, existem características inerentes aos produtos e ao setor da construção que tornam a avaliação ambiental complexa (KOTAJI et alli, 2003; *ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT*, 2003):

- a) edificações e construções têm vida útil extremamente longa, geralmente mais de 50 anos, sendo difícil realizar previsões sobre seus ciclos de vida;
- b) durante a vida útil, podem passar por alterações de forma e função, que constituiriam impactos significativos, possivelmente maiores que os relacionados à edificação original, sendo que o projeto inicial poderá facilitar ou não a realização de tais modificações e, portanto, a redução ou não do potencial de impactos ambientais das mesmas;
- c) muitos dos impactos ambientais de edificações ocorrem durante a etapa de uso na forma de consumo de energia e água, de maneira que o projeto adequado e a seleção de materiais, componentes e técnicas construtivas são fundamentais para minimizar as cargas ambientais nesta etapa;
- d) muitos agentes são envolvidos em empreendimentos do setor da construção, de forma que os projetistas e os demais agentes que determinam a performance do produto final, não se envolvem na produção de componentes, nem na etapa de construção;
- e) cada edificação como um todo, tradicionalmente, é única e projetada como tal, de forma que existe pouca padronização, embora possa existir padronização na escala dos componentes.

O objetivo mais amplo dos sistemas de avaliação é melhorar o desempenho ambiental ao longo de todos os processos e etapas do ciclo de vida de uma edificação (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002; TRUSTY; HORST, 2002). Trusty (2000) propõe a classificação dos sistemas de avaliação em três classes:

- a) classe 1: correspondente a sistemas de comparação e fontes de informações sobre materiais e componentes, utilizados na fase de sua aquisição. Possuem a

ACV na base de sua estrutura, ou realizam ACV, mas quando utilizados para fazer análises de edificações como um todo, não se adequam às diretrizes estabelecidas pela norma ISO 14040⁴ ou são sobrecarregados, exigindo muito em termos de dados para alimentar a avaliação;

- b) classe 2: correspondente a sistemas de apoio à decisão para projeto de edificações como um todo. Geralmente focam em um aspecto específico, por exemplo, iluminação, energia para operação, custos do ciclo de vida. São objetivos, orientados à geração de dados, e se baseiam em normas, tais como *International Organization for Standardization (ISO)*, *American Society for Testing And Materials (ASTM)* e *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, sendo utilizadas em estágios iniciais de projeto;
- c) classe 3: correspondente a sistemas ou estruturas de avaliação de edificações como um todo, que utilizam uma mistura de dados objetivos, geralmente procedentes das ferramentas de nível 2, e subjetivos, e possibilitam ponderação e pontuação, para proporcionar resultados simplificados, sendo aplicáveis a novos projetos ou a edificações existentes com a meta de certificação ou classificação.

Muitas das ferramentas de nível 3, segundo Trusty (2000), afirmam ser baseadas na ACV, mesmo que não atendam à normalização que define o método, a série ISO 14040 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997; 1998; 1999). Com base em pesquisa bibliográfica, exemplos dos diversos tipos de sistemas foram reunidos no quadro 2, segundo a classificação proposta por Trusty (2000). Deve-se atentar para o fato de que todos os principais sistemas e iniciativas para avaliação ambiental nas três classes, foram elaborados para países desenvolvidos, portanto, em contextos diferentes do brasileiro.

Mesmo entre sistemas de uma mesma classe, com aplicações semelhantes, existem diferenças que dizem respeito aos seguintes itens (IEA ANNEX 31, 2001f):

- a) escopo e fronteiras do sistema, ou seja, o que é incluído ou excluído da avaliação em relação ao objeto de análise e ao meio ambiente;
- b) usuário, ou seja, para que tipo de agente ele foi criado;
- c) modelagem dos mecanismos ambientais das cadeias de causa e efeito;
- d) qualidade e formatação dos dados; agregação e formatação dos resultados.

⁴ ISO 14040: *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*

	Sistema	Escala do objeto	Descrição / objetivo do sistema	Pais de origem
classe 1	Bousted	Materiais	modelagem computadorizada para cálculo de inventários relativos a produção de materiais, energia e combustíveis	Reino Unido
	SimaPro	Materiais	análise e monitoramento de informações ambientais para pesquisa e desenvolvimento de produtos e serviços	Holanda
	Environmental Profiles ³	Componentes	fornece informações para materiais de construção, componentes e edificações	Reino Unido
	BEES ⁴	Componentes	auxilia a seleção de componentes de edificações baseado em critérios ambientais e econômicos.	EUA
classe 2	ECOTECH ²	Edificações	simulação e análise térmica, acústica, de iluminação, e sombreamento de edificações	Austrália
	DOE ¹	Edificações	simulação energética, orientado para projetistas e pesquisadores para estimar o desempenho energético de edificações alternativas	EUA
classe 3	BREEAM	Edificações	baseado em critérios para edificações comerciais, com módulo opcional para avaliar o gerenciamento e operação de edifícios em uso	Reino Unido
	GBTool	Edificações	projetado para avaliar o desempenho potencial de uma edificação	Canadá
	LEED TM	Edificações	classificação de edificações ecológicas segundo norma americana de aplicação voluntária	EUA

(1) – ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION, 2004;

(2) – SQUARE ONE, 2004;

(3) – BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, 2004;

(4) – NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, 2004;

Quadro 2: exemplos de sistemas de avaliação, segundo a classificação de Trusty (2000)

4.2.1 Sistemas de classe 1

Esta seção apresenta a Análise do Ciclo de Vida (ACV) como um método de análise do desempenho ambiental de produtos da construção sem, entretanto, realizar uma descrição detalhada do mesmo, visto que a documentação existente o torna dispensável (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997;1998;1999; *EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY*, 1997a; IEA ANNEX 31, 2001e). O objetivo é identificar o potencial e as limitações da aplicação da ACV para produtos da Construção Civil, assim como, identificar a forma como a avaliação é estruturada e os critérios definidos.

Para a IEA ANNEX 31 (2001e), a ACV poderia ser diretamente aplicada para os produtos da construção, mas, as aplicações do método convencional têm sido frustradas devido a características peculiares de tais produtos, como já foi exposto neste trabalho. Isso indica que a aplicação para produtos da construção requer alguma adaptação da ACV, modificando a

Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subsistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social

maneira como é tradicionalmente aplicada a produtos em geral. Isto não implica em desrespeitar a normalização da ACV, pois a Norma não estabelece rigidamente quais categorias, nem os modelos ambientais, que devem ser utilizados, mas apenas estabelece critérios e diretrizes para a seleção de critérios e sua aplicação.

A ACV proporciona vantagens para a avaliação ambiental de edificações por incluir no processo de avaliação (SILVA, 2003):

- a) uma estrutura científica para a questão ambiental;
- b) questões como a energia incorporada dos materiais e os resíduos gerados, extrapolando o foco da discussão ambiental, anteriormente concentrada na questão do uso de energia;
- c) uma visão sistêmica dos processos envolvidos;
- d) uma abordagem menos subjetiva, muito embora, segundo a ISO (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997), existem decisões subjetivas na ACV.

Segundo Kotaji et alli (2003), está acontecendo um desenvolvimento rápido da ACV para o setor da construção, dado o reconhecimento como um método relevante para a obtenção de informações ambientais sobre edificações, subsistemas, componentes e materiais na busca da construção sustentável. Por exemplo, alguns sistemas de avaliação já desenvolvidos que estão incorporando, gradativamente, a ACV nas estruturas de análises (TRUSTY; HORST, 2002).

Algumas questões a serem consideradas em uma ACV para edificações são apontadas por Kotaji et alli (2003), tais como a necessidade de considerar a diversidade de agentes envolvidos nos processos quando da definição de metas e escopo. As autoras afirmam, ainda, que as aplicações da ACV podem ser identificadas para o nível:

- a) da edificação como um todo: sendo a meta, geralmente, a minimização do impacto ambiental ao longo do ciclo de vida;
- b) das combinações de materiais e componentes.

No escopo de uma ACV, todo o ciclo de vida do produto em questão deve ser incluído (KOTAJI et alli, 2003; HOWARD et alli, 1999; IEA ANNEX 31, 2001e; LIPPIATT, 2002). Entretanto, parte desse ciclo pode ser conhecido com maior precisão e parte pode ser apenas estimado, conforme apresentado na figura 11.

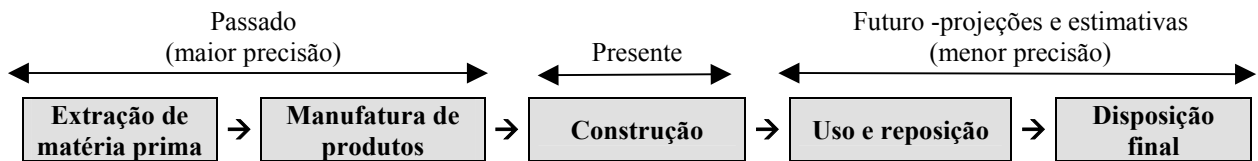


Figura 11: precisão do conhecimento sobre materiais e componentes de edificações (KOTAJI et alli, 2003)

Embora todo o ciclo de vida do produto analisado deva ser incluído, para garantir a confiabilidade dos resultados, existem diferenças na delimitação de processos e etapas do ciclo de vida, ocorrendo exclusões e inclusões, que variam de um sistema para outro. Por exemplo, as seguintes delimitações podem ser verificadas em sistemas de avaliação (KOTAJI et alli, 2003.):

- a) praticamente todos os métodos e ferramentas baseados na ACV incluem a etapa de produção de materiais e o transporte desde o portão da fábrica até o canteiro de obra;
- b) a etapa de execução é, quase sempre, excluída, de tal forma que desperdícios não são, em geral, considerados;
- c) em praticamente todos os casos o uso da edificação é incluído na forma de energia necessária para sua operação e, em alguns casos, também na forma de consumo de água;
- d) manutenção, reposição e demolição são, algumas vezes, incluídas, embora com nível variável de detalhamento;
- e) transporte de resíduos para aterros é quase sempre incluído, embora não exista grande disponibilidade de dados.

Em relação à etapa de avaliação de impactos, duas questões que diferenciam a ACV convencional, da aplicada para produtos da construção, são indicados por Kotaji et alli (2003):

- a) liberação, para o ambiente interno, de substâncias voláteis;
- b) uso do solo e deterioração de ecossistemas.

Em relação à aplicação da ACV no contexto brasileiro, na avaliação de edificações, Silva (2003) afirma que existem limitações, principalmente, devido à inexistência de dados confiáveis sobre o ciclo de vida de materiais de construção. Em outros países, a aplicação da ACV para produtos da construção ocorre pelo uso de diversas ferramentas. Estas,

concentram-se, geralmente, na análise de produtos na escala de materiais e componentes, provavelmente, devido às limitações metodológicas atuais, já mencionadas anteriormente.

Segundo Silva (2003), são poucos os sistemas que seguem rigorosamente o formato de ACV, devido às dificuldades práticas de aquisição e manipulação de dados e ao fato de aspectos importantes do desempenho de edifícios ficarem fora de seu alcance. De toda forma, o princípio de avaliar impactos ao longo de todo o ciclo de vida do edifício permeia todos os sistemas de avaliação disponíveis e de alguma forma transparece em suas estruturas.

4.2.2 Sistemas de classe 3

Os sistemas de avaliação de edificações podem ter, como já foi citado, várias aplicações (SILVA, 2003). A aplicação na forma de dispositivos legais, regulamentações ou normas possibilita alcançar níveis mínimos de desempenho ambiental (SILVA, 2003). Por outro lado, sistemas de classificação e certificação, possibilitam alcançar níveis superiores de desempenho. A classificação e certificação ambiental de um produto são ações opcionais e voluntárias, ao contrário de Normas e regulamentação, que são dispositivos obrigatórios⁵.

Assim, a evolução dos sistemas de avaliação, com o objetivo de alcançar níveis superiores de desempenho, tem ocorrido no sentido de estimular a adoção voluntária por parte dos agentes do mercado (COLE et alli, 2004; SILVA, 2003). Para isso ser possível, precisam ser facilmente aplicáveis. Mas, sistemas simples tendem a ser menos eficazes e carecem de respaldo científico. Isto gera um paradoxo: são almejadas avaliações mais abrangentes, objetivas e cientificamente robustas e, conseqüentemente, excessivamente complexas; mas, ao mesmo tempo, as aplicações devem ser suficientemente simples e fáceis de aplicar para viabilizar a aplicação de forma voluntária. O desenvolvimento de sistemas de avaliação consistiu, inicialmente, apenas na sistematização de um leque de questões na forma de uma estrutura de análise e tornou-se uma área de pesquisa em busca de uma abordagem cientificamente robusta e que resolva o paradoxo apontado (COLE et alli, 2004). A análise de sistemas de avaliação de aspectos ambientais de edificações constitui, atualmente, um campo de pesquisa aberto e em evolução: com questões metodológicas ainda por definir e aperfeiçoar

⁵ Aplicação de Normas no Brasil: as normas da ABNT são obrigatórias apenas sob o ponto de vista do Código de Defesa do Consumidor.

e cuja relevância pode ser medida pela existência de iniciativas de organizações de referência para o setor da construção nesta área.

O *Building Research Establishment Assessment Method* (BREEAM), lançado em 1990, constituiu o primeiro esforço para o estabelecimento de um sistema que lograsse a avaliação de uma ampla gama de questões ambientais, em função de critérios explicitamente declarados, de forma abrangente e objetiva, e que também oferecesse um sumário do desempenho resultante (Cole et alli, 2004). Passou a ser uma referência para a criação de sistemas e, desde então, a avaliação ambiental de edificações tem amadurecido e vários métodos foram criados para diferentes contextos e com diferentes objetivos. São exemplos disto, o LEEDTM (US GREEN BUILDING COUNCIL, 2004) e o GBTool (*INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT*, 2004).

Segundo Cole et alli (2004), o desenvolvimento de sistemas para os diferentes contextos nacionais, acabou suscitando a troca de experiências e coordenação internacional, incluindo a discussão sobre avaliação ambiental de edificações na pauta do comitê da ISO, denominado *Technical Committee 59 – building construction* (ISO TC59) e culminou com a criação do subcomitê denominado ISO T59/SC17 – *sustainability in building construction*. Este subcomitê trata do desenvolvimento de Normas sobre questões relacionadas a métodos de avaliação de desempenho ambiental de edificações. Segundo Silva (2003), a ISO desenvolve um conjunto de normas sobre construção sustentável, que se encontra na forma de *Committee Drafts – CD* ou *Approved Work Item – AWI*, de circulação restrita, dentre os quais estão os itens seguintes:

- a) ISO TC59/SC3/N503– Terminologia;
- b) ISO TC59/SC3/N499 – Declarações Ambientais de Produtos da Construção;
- c) ISO TC59/SC3/N469 – Indicadores de Sustentabilidade;
- d) ISO TC59/SC3/N459 – Princípios Gerais;
- e) ISO TC59/SC3/N501 – Estrutura de Avaliação do Desempenho Ambiental de Edificações.

A iniciativa da ISO pode, então, proporcionar uma possibilidade de compatibilização dos sistemas, não no sentido de homogeneizar suas estruturas de análise, mas de possibilitar a

comparação de resultados entre sistemas de diversos países (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002).

4.3 SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL: ESTRUTURA GENÉRICA

Uma vez estabelecida uma visão mais abrangente sobre sistemas de avaliação ambiental, apresenta-se, neste item, uma abordagem mais objetiva do seu desenvolvimento, explicitando as etapas e processos compreendidos no que se denominou **estrutura genérica**.

As informações contidas nesta seção estão baseadas, principalmente, na série de relatórios desenvolvidos pela IEA ANNEX 31 (2001a; 2001b; 2001c; 2001d; 2001e; 2001f), identificada como a fonte que trata de sistemas de avaliação ambiental de produtos da construção de forma ampla e genérica. Resultam, também, do estudo de várias referências a respeito de sistemas específicos de avaliação ambiental (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1997; HOWARD et alli, 1999; *US GREEN BUILDING COUNCIL*, 2002; LIPPIATT, 2002; KOTAJI et alli, 2003; *UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME*, 2003; *INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT*, 2004; GOEDKOOP E SPRIENSMAR, 2001).

O objetivo, aqui, é identificar o quê os autores apontam como necessário no desenvolvimento de sistemas de avaliação, ou seja, os elementos e etapas de um sistema, colocados dentro de uma ordem lógica, que se denomina de estrutura genérica de sistemas de avaliação.

De forma geral, é possível identificar nos sistemas de avaliação, apesar das diferenças, um conjunto mais ou menos comum de elementos e as etapas, dispostos dentro de uma seqüência, conforme apresentado na figura 12. Sistemas sofisticados permitem que os usuários interfiram em cada etapa, enquanto que em sistemas mais simples, tais como listas de checagem, existem pressupostos padrões que reduzem o número de escolhas do usuário e as oportunidades de iteração com o sistema, facilitando o seu uso e reduzindo os recursos para o desenvolvimento da avaliação. Isso, por outro lado, restringe a qualidade ou sensibilidade dos resultados (IEA ANNEX 31, 2001f).



Figura 12: estrutura genérica de sistemas de avaliação em relação ao processo de tomada de decisão e ao meio ambiente (IEA ANNEX 31, 2001f)

O fluxo de informações, segundo a estrutura apresentada na figura 12, tem início no usuário do sistema, responsável pela tomada de decisão. Ao longo do processo de avaliação, ocorrem entradas de dados, que são tratados, gerando resultados que devem ser apresentados de forma a apoiar a tomada de decisão (IEA ANNEX 31, 2001f).

4.3.1 Definição de metas e escopo

As definições de metas e escopo são básicas em um sistema de avaliação. Visam explicitar quando a ferramenta deverá ser utilizada e qual o seu propósito. Muitas das questões relacionadas à definição de uma estrutura de avaliação não podem ser realizadas sem que fique claro quem é o usuário, que decisões ele tomará e quando serão tomadas. Segundo Tood e Curran (1999), a importância da definição clara de metas e escopo é o fato desta ser referência para muitas decisões posteriores na criação da estrutura de avaliação do sistema, colocando-se, portanto, como uma etapa relevante e que não deve ser negligenciada. Neste trabalho, o escopo está relacionado com a definição das questões ambientais a serem caracterizadas.

Segundo a IEA ANNEX 31 (2001e), sistemas de avaliação são desenvolvidos, principalmente, para apoio à tomada de decisão. Um **sistema de apoio à tomada de decisão** é

dependente de uma base de dados, como fonte de informações, realizando sobre esta base, uma série de análises matemáticas e estatísticas (KENDALL; KENDALL, 1991). Funciona de forma passiva, no sentido de que não é utilizado de forma regular, sendo, em vez disso, utilizados *ad hoc*, quando se faz necessário (YOURDON, 1990). Um sistema de apoio à decisão apenas estabelece uma orientação para o usuário responsável pela tomada de decisão, diferente de sistemas especialistas, que apresentam a solução de um problema para o usuário. Existem dois tipos de usuários de sistemas de avaliação ambiental (IEA ANNEX, 2001e):

- a) assessores: implementam o sistema e assessoram o seu uso;
- b) agentes da tomada de decisão: estão envolvidos no processo de tomada de decisão e são as pessoas para quem as informações são geradas. Necessitam dos assessores para o uso de sistemas de avaliação ambiental.

É preciso entender, entretanto, que o processo de tomada de decisão não ocorre somente nas etapas de projeto e execução de edificações: estende-se até as etapas de manutenção, reforma e disposição final (BRUCE; COOPER, 2000). Isto leva a contextualizá-lo no que se definiu, anteriormente, como Processo de Desenvolvimento do Produto (PDP). O processo de tomada de decisão tem se tornado cada vez mais complexo, refletindo a crescente complexidade das edificações em si e dos processos que ocorrem no projeto, execução e gerenciamento da edificação (KALAY et alli, 1998). Esta crescente complexidade das edificações e do seu respectivo PDP, abrangendo aspectos técnicos, sociais, regulamentares e financeiros, requer, ao mesmo tempo, especialização e generalização dos agentes envolvidos no processo de projeto (KALAY, 1997). Isto demanda, para o PDP, uma diversidade de agentes especialistas envolvidos na tomada de decisão, reflexo de um processo multidisciplinar, que acarreta um grande fluxo de informações entre os vários parceiros e organizações (*ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT*, 2003; KOTAJI et alli, 2003). Nas etapas do PDP, diferentes agentes atuam e respondem a questões específicas e em momentos diferentes, conforme apresentado na figura 13.

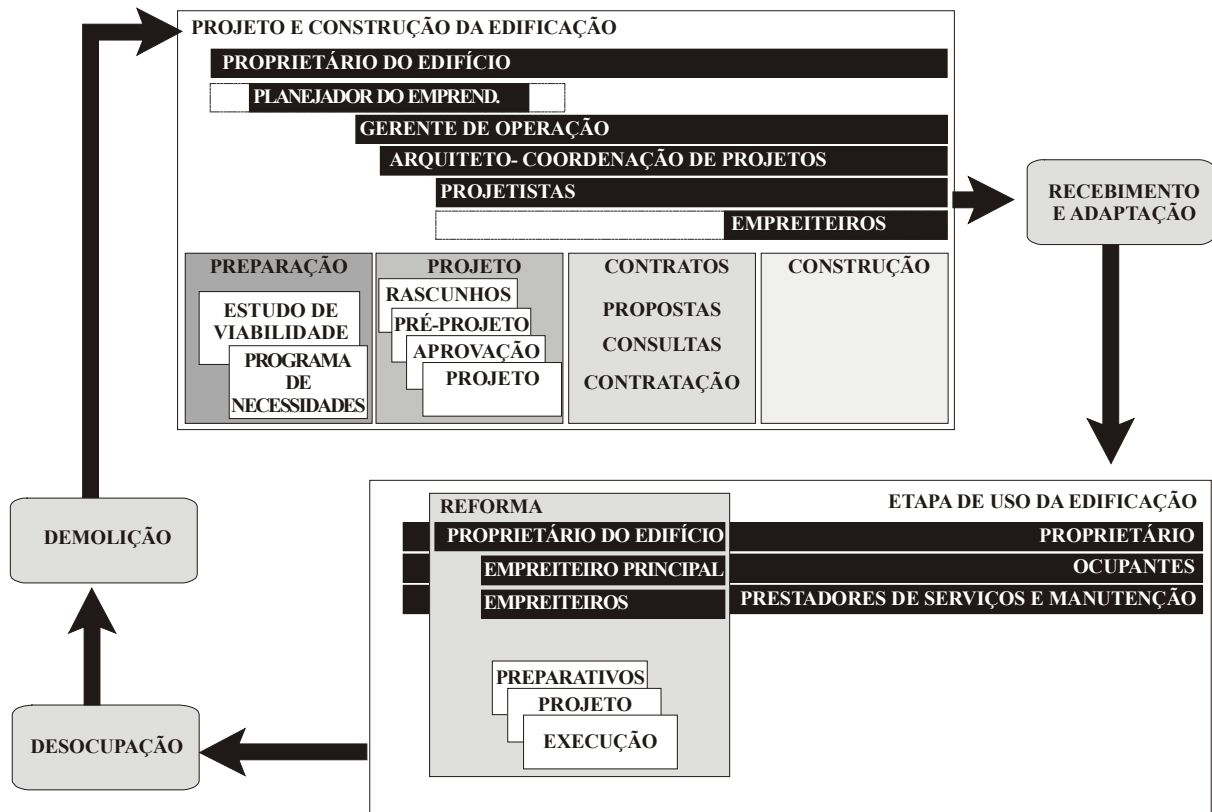


Figura 13: etapas e agentes envolvidos no PDP da Construção Civil (IEA ANNEX 31, 2001b)

O fato dos sistemas serem voltados para necessidades dos agentes da tomada de decisão define, de certa forma, os limites e o escopo da estrutura de avaliação, na medida em que cada agente tem seus próprios questionamentos e interesses. Por exemplo, um arquiteto deverá decidir, no início do projeto, sobre questões de implantação e orientação da edificação, desejando saber sobre os impactos ambientais resultantes de uma determinada alternativa de projeto. Já em uma etapa mais avançada, decidirá sobre os materiais empregados na vedação, perguntando sobre quais as implicações em termos de nível de conforto interno. Por outro lado, o investidor poderá querer saber sobre as implicações, em termos de custos ou cronograma, de algumas alternativas com menos impactos ambientais negativos. Desta forma, a tomada de decisão ocorre dentro de um contexto complexo, onde ocorrem iterações (YAZDANY; HOMES, 1999) e os sistemas de avaliação devem refletir esta complexidade. É improvável que um mesmo sistema responda às necessidades de todos os agentes, nos diversos momentos de atuação (IEA ANNEX 31, 2001b). Isto implica que sistemas específicos podem ser necessários, e explica, em parte, o porquê da diversidade de sistemas existentes.

O escopo do estudo consiste na definição do campo de aplicação e nos tipos de problemas e questões que serão apresentados, definidos segundo as necessidades e motivações do usuário (IEA ANNEX 31, 2001b). A maioria dos sistemas de avaliação de edificações tem o escopo que abrange apenas a dimensão ambiental (SILVA, 2003), mas consideram diversas questões que se referem a diferentes impactos ambientais. Estas, são definidas, segundo a ISO (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 1999), como classes que representam questões de interesse ambiental.

4.3.2 Definição de fronteiras

Segundo a IEA ANNEX 31 (2001f), a fronteira do sistema explicita a escala do objeto de análise, podendo ser, por exemplo, a escala de materiais, componentes, edificações ou conjunto edificado. Considera, também, a inclusão ou exclusão de determinadas etapas do ciclo de vida, e os processo incluídos ou excluídos da avaliação. A definição do objeto de análise, pode ser posta em função do tipo de agente para quem o sistema se destina, conforme o quadro 3.

Objeto	Proprietário	Usuário	Projetistas	Construtor	Operador
Produtos da edificação					
Envoltória	○		●	●	
Acabamentos		●	●	●	●
Produtos associados			○	●	●
Processo de execução			○	●	
Elementos/componentes					
Envoltória	○	○	●	○	
Acabamento	●	●	●	○	●
Sistemas técnicos	○	○	●	○	●
Edificação como um todo	●	●	●		
Infra-estrutura	○	○	●		●

○ área de menor interesse

● área de maior interesse

Quadro 3: definição do objeto de análise em função do nível de interesse dos agentes envolvidos na tomada de decisão (IEA ANNEX 31, 2001b)

Uma vez definido o objeto de avaliação, devem ser estabelecidos pressupostos e delimitações que, segundo a IEA ANNEX 31 (2001a), são necessários para realização da avaliação de desempenho ambiental, e que, também, são parte das definições de fronteira. Alguns estão relacionados à edificação em si, outros, a questões contextuais, tais como fluxos de energia e comportamento dos usuários. Estes pressupostos são críticos para o delineamento do sistema

de avaliação, pois também estabelecem condições para as quais são válidos os resultados, que são, muitas vezes, extremamente sensíveis a eles. Desta forma, é necessário prover transparência à definição de pressupostos e delimitações, sendo que a análise de resultados deve ser amparada pela revisão dos mesmos. Podem ser definidos em relação aos seguintes itens (IEA ANNEX 31, 2001a; *INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002):

- a) a vida útil da edificação: podendo variar de acordo com o seu uso, com a escolha dos métodos construtivos e com a localização do edifício;
- b) as práticas de reforma, manutenção e serviços: devem ser definidos e os processos que demandam energia devem ser especificados. A manutenção da edificação, embora demande energia e recursos e cause impactos ambientais negativos, é relevante por proporcionar a recuperação dos níveis iniciais de desempenho ambiental da edificação. Em relação à substituição de elementos, deve-se considerar as taxas de substituição e a possibilidade de substituição independente de outros elementos conectados. Pressupõe-se, normalmente, que as substituições ocorrem por produtos semelhantes, embora a prática demonstre que isso raramente ocorre. Em geral, os sistemas de avaliação não comportam uma modelagem precisa sobre a manutenção e substituição de componentes e edificações, pois existem questões complexas envolvidas, como a taxa de degradação de desempenho em função do tempo, além da impossibilidade de previsão de decisões futuras sobre as escolhas de produtos substitutivos;
- c) a demolição e desconstrução: abrangendo as técnicas utilizadas, as formas de disposição final, recuperação e possibilidades de reutilização dos componentes. Entretanto, existem incertezas devido a pressupostos sobre questões que estão muito distantes no horizonte de tempo, por exemplo, em relação a quais métodos de reciclagem estarão sendo utilizados num horizonte de 50 anos, de forma que muitos sistemas simplesmente excluem esta etapa do seu escopo;
- d) aos impactos relacionados ao consumo de energia: em termos de energia incorporada por um material, que pode variar sensivelmente em relação aos processos (extração, manufatura, transporte) que foram incluídos para o cálculo e da matriz atrelada à produção da energia consumida;
- e) as mudanças na cadeia da produção e abastecimento energético: consideradas devido à possibilidade de alteração das fontes energéticas para operação de uma edificação ao longo de sua vida útil. Por exemplo, é possível incorporar equipamento a gás ou energia elétrica, com maior ou menor desempenho, ou mesmo a matriz energética da rede elétrica pode ser alterada;
- f) ao comportamento dos usuários: varia de indivíduo para indivíduo e, embora influencie sensivelmente os impactos ambientais da edificação, não é conhecido antecipadamente. Geralmente, são realizados alguns pressupostos baseados em equipamentos-padrão e comportamento médio dos usuários. Entretanto, o conhecimento atual não permite que as modelagens dos sistemas

incorporem detalhes sobre a influência do comportamento no consumo de energia, água e na geração de resíduos e emissões;

- g) ao transporte de usuários: pode ser ou não considerado, dependendo da fronteira do estudo, estando mais relacionado à análise de contexto urbano do que a edificações individualmente. Quando levado em consideração, aspectos de transporte podem influenciar sensivelmente os resultados da avaliação. Entretanto, não há consenso sobre a pertinência de inclusão de aspectos do transporte de usuários, nem da forma de modelagem de tais aspectos.

4.3.3 Definição de critérios

Critérios são definidos pelo Dicionário Aurélio Eletrônico (1999) como algo que serve de **base para comparação, julgamento ou apreciação**. Assim, para o estudo das questões ambientais, os critérios são definidos em função das metas e do escopo, e devem estar associados às questões ambientais incluídas no escopo da avaliação (IEA ANNEX 31, 2001f).

Segundo a IEA ANNEX 31 (2001a), a inclusão de critérios de avaliação poderá ocorrer segundo duas posturas distintas:

- a) seleção de um rol de critérios, a partir de listas de impactos ambientais pré-definidos;
- b) definição de critérios específicos para os interesses dos agentes, incluindo,
 - impactos ambientais diretos;
 - aspectos relacionados a questões ambientais, tais como desempenho térmico e durabilidade;
 - características fora do escopo ambiental, tais como, custos operacionais e rentabilidade financeira.

Estas colocações não explicitam, entretanto, um método para a definição de critérios ambientais, constituindo-se mais em recomendações gerais. Não foram identificados em outros trabalhos de pesquisa procedimentos cientificamente orientados para a seleção ou definição de critérios ambientais. Acredita-se que tal ação guarda uma parcela de subjetividade inerente ao processo de geração de requisitos e a tomada de decisão do PDP.

Orientações para a seleção de critérios podem ser geradas a partir dos procedimentos adotados pela abordagem de desempenho funcional. Segundo o CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL*

FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION, 1982), vários métodos podem ser usados para o processo de seleção de critérios de desempenho, alguns mais sistemáticos e baseados em um conhecimento científico já estabelecido, outros mais intuitivos, sobre questões que ainda não possuem embasamento científico (quadro 4).

MÉTODO	ATIVIDADE	VANTAGENS	PROBLEMAS	APLICABILIDADE
Seleção subjetiva	<ul style="list-style-type: none"> • seleção intuitiva de um conjunto de critérios ou listagem sistemática de critérios seguidos por seleção subjetiva 	<ul style="list-style-type: none"> • não exige muitos recursos • bons resultados com os especialistas corretos 	<ul style="list-style-type: none"> • não há envolvimento direto dos usuários • leva em conta apenas a experiência pessoal de uma pessoa 	<ul style="list-style-type: none"> • aplicável apenas em áreas onde existem especialistas disponíveis
Seleção baseada na disponibilidade de métodos de teste	<ul style="list-style-type: none"> • revisão de métodos de teste existentes e seleção dos mesmos entre especialistas ou grupos de especialistas 	<ul style="list-style-type: none"> • fácil de avaliar • fácil de apontar níveis (quantificar) • exige recursos de forma moderada 	<ul style="list-style-type: none"> • não envolve diretamente os usuários • problemas de validação • métodos voltados para produtos existentes • falta de métodos de teste para vários campos 	<ul style="list-style-type: none"> • constitui uma forma pragmática de selecionar critérios, sempre utilizada em especificação de performance • aplicável apenas em áreas estabelecidas
Seleção baseada na análise funcional	<ul style="list-style-type: none"> • definição da função principal de um produto e subdivisão do mesmo em subfunções, levando a definição de uma lista de critérios relacionadas às funções e para a seleção entre estes critérios levantados 	<ul style="list-style-type: none"> • auxílio para estruturar conhecimento já existente • orientado ao uso • auxílio para identificação de lacunas do conhecimento • fácil de aplicar, sem consumo excessivo de recursos 	<ul style="list-style-type: none"> • não há envolvimento direto do usuário • não proporciona novas informações • seleção subjetiva é sempre utilizada 	<ul style="list-style-type: none"> • geralmente utilizado no processo de desenvolvimento de produto para levantar idéias de aperfeiçoamento de produtos existentes
Seleção baseada no retorno do produto em uso	<ul style="list-style-type: none"> • coleta e análise de experiências e problemas com os produtos em uso 	<ul style="list-style-type: none"> • possibilidade de envolvimento direto do usuário 	<ul style="list-style-type: none"> • baseado em produtos existentes 	<ul style="list-style-type: none"> • geralmente para embasar normas existentes
Seleção baseada no estudo dos requisitos do usuário	<ul style="list-style-type: none"> • participação direta do usuário na especificação ou pesquisa sistemática de requisitos dos usuários 	<ul style="list-style-type: none"> • envolvimento direto do usuário • fornece critérios básicos contra os quais avaliar o desempenho relacionado ao uso • inovador 	<ul style="list-style-type: none"> • exige muitos recursos • problemas metodológicos • geralmente necessita transformar os resultados da pesquisa para uma linguagem técnica 	<ul style="list-style-type: none"> • necessário quando informações de base não estão estabelecidas

Quadro 4: forma de seleção dos critérios de desempenho funcional
(*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982)

Dentre os métodos apresentados no quadro 4, os primeiros compreendem um nível de simplicidade maior, enquanto os últimos são mais sofisticados. Adotou-se neste trabalho os métodos de maior simplicidade, principalmente o de seleção subjetiva. Isto ocorre, visto que há carências na determinação de dados e informações mais precisos sobre os fenômenos e características ambientais dos produtos envolvidos, o que impossibilita o uso de critérios mais sofisticados.

Deve-se atentar que a definição subjetiva não implica na falta de embasamento científico para o critério definido, visto que devem ser explicitados e demonstrados as relações dos critérios para com os processos que originam as cadeias de causa e efeito, bem como para com os possíveis impactos finais. Dois conjuntos distintos de critérios, definidos segundo decisões subjetivas, poderão responder de forma diferente, mas mesmo assim, satisfatória, a uma avaliação ambiental, visto que a eficiência da avaliação deverá estar na coerência interna do sistema e no seu embasamento científico. Em um segundo momento, quanto mais informações passarem a ser disponibilizadas sobre um determinado aspecto ambiental, será possível adotar critérios mais precisos e definidos a partir de métodos mais sofisticados.

Segundo Blachère (1993), é possível resumir uma lista exaustiva de critérios a um pequeno número de itens. O mesmo autor aponta, ainda, uma segunda questão sobre a seleção de critérios, relevante para este trabalho, quando afirma que critérios de desempenho podem ser atribuídos a partes da edificação, entendido o todo como uma combinação de componentes, assim como para a edificação como um todo.

Baseado no que foi estudado nas referências bibliográficas, e extrapolando-se conceitos a partir da abordagem de desempenho para a avaliação ambiental, se apontam possibilidades de:

- a) adotar procedimentos simplificados de definição de critérios de desempenho ambiental, baseados, principalmente, na decisão subjetiva;
- b) limitar o número de critérios a partir de uma lista exaustiva;
- c) aplicar a avaliação baseada em critérios para a avaliação de uma parte ou subsistema da edificação, por exemplo, para os subsistemas de cobertura.

Deve-se levar em conta, entretanto, que a disposição de questões ambientais em uma estrutura hierárquica pode influenciar a decisão final dos agentes, pois pode conter priorizações

implícitas. Este tipo de problema deve ser considerado nas etapas de agregação e ponderação de resultados, mas que não serão tratadas neste trabalho.

Por fim, se assume que o processo de seleção e definição de critérios é subjetivo. Para dotar o processo de seleção de alguma consistência e rigor científico, levou-se em consideração, neste trabalho, alguns requisitos para seleção de critérios ambientais:

- a) a relevância do critério para informar sobre uma questão ambiental relevante para o contexto local, regional e global;
- b) coerência e fundamentação científica do critério, explicitando-se suas relações para com os processos (início da cadeia de causa e efeito) e com os impactos no fim da cadeia;
- c) disponibilidade de dados qualitativos ou quantitativos para a caracterização do critério;
- d) possibilidade de assimilação do critério, por um agente da tomada de decisão, como um aspecto relevante e vinculado ao escopo de suas atividades, ou seja, o critério deve ter uma relação clara com os processos que geram os impactos.

4.3.4 Apresentação dos resultados

A abordagem proposta pelo CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982) incorpora um referencial teórico para a avaliação de múltiplos critérios com base na definição de perfis e faixas de desempenho. Algumas das limitações que justificam a adoção da avaliação em perfil de desempenho são as seguintes:

- a) os requisitos funcionais podem não ser passíveis de uma definição precisa devido à falta de dados e de conhecimento sobre determinados aspectos, sendo compreensível adotar critérios que comportados dentro de uma faixa, se tornam menos vulneráveis a imprecisões;
- b) a seleção de uma alternativa, em muitos casos, não ocorre a partir de um único atributo, mas em função do desempenho resultante do conjunto de atributos, e portanto, a precisão em um aspecto específico não seria crítica;
- c) a agregação tende a ocultar os aspectos considerados e que influem na decisão por uma determinada alternativa, negligenciando possíveis fraquezas.

A abordagem propõe, portanto, expressar o desempenho de um produto na forma de perfil de desempenho e avaliá-lo em comparação com faixas de desempenho e não em valores absolutos. Assim, um produto é selecionado, não por atender a um valor específico de um requisito de desempenho, mas sim por se enquadrar a uma faixa de desempenho (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982). Esta solução poderá também acarretar, para o caso de aplicações específicas, a determinação de várias faixas de desempenho relacionadas a diferentes níveis de performance.

Um perfil de desempenho hipotético é apresentado esquematicamente na figura 14. Os diversos eixos horizontais paralelos correspondem aos diferentes critérios avaliados, e possuem, portanto, escalas e unidades diferentes. Sobre os eixos, a escala deve indicar níveis de desempenho, em relação ao critério avaliado. Uma vez identificado o desempenho de cada alternativa uma linha transversal que atravessa todos os eixos sobre os pontos de desempenho da alternativa, determina o perfil de desempenho desta.

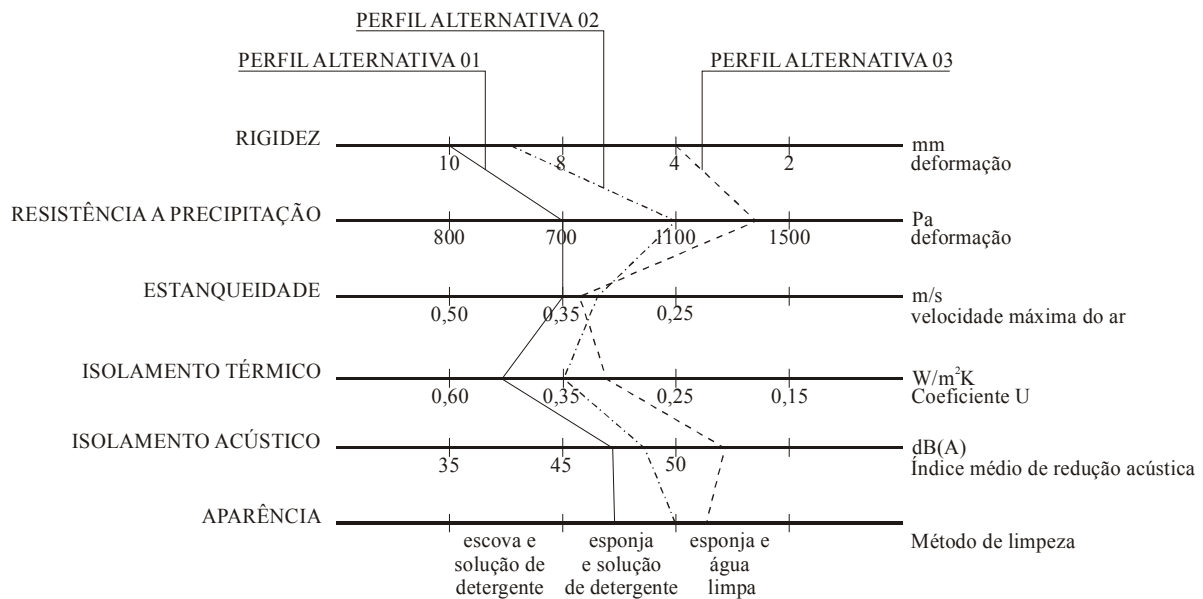


Figura 14: comparação hipotética de perfis de desempenho
(*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION
IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1982)

4.4 IMPLICAÇÕES DO USO DE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE EDIFICAÇÕES

Segundo Trusty (2000), os sistemas de avaliação ambiental de edificações permitem, em geral, capturar uma complicada teia de relações entre o edifício, meio ambiente e a saúde humana: com uma complexidade semelhante a dos sistemas ecológicos, onde nada acontece sem interferir em outra parte do sistema. Diferenças verificadas nos escopos das ferramentas, resultam de expectativas de mercado específicas, de práticas construtivas e de agendas ambientais específicas de cada contexto de aplicação (SILVA, 2003).

Cole et alli (2004) apontam alguns avanços proporcionados, até o momento, pelo uso de sistemas de avaliação:

- a) prática de projeto de edificações ecológicas, na medida que fornecem uma lista de questões dentro de uma estrutura e com prioridades explícitas, para serem inseridas no rol de questões normalmente consideradas no processo de tomada de decisão;
- b) possibilidade de descrição abrangente do desempenho ambiental de uma edificação, mesmo que por meio de critérios prescritivos;
- c) possibilidade de reformulação do processo de projeto, na medida que a inclusão de critérios ambientais requer maior integração e trabalho multidisciplinar.

Existem, entretanto, problemas em relação aos sistemas que, a exemplo do LEEDTM, utilizam critérios prescritivos ou orientados a dispositivos, visto que isto gera confusão entre meios e fins. Nestes casos, os meios passam a ser considerados objetivos e por vezes, comprometendo o desempenho ambiental (TRUSTY; HORST, 2002). Para exemplificar, os autores colocam a situação de uma avaliação hipotética, que confere uma quantidade substancial de créditos para o uso de materiais com conteúdo reciclado. Considera-se, em razão de uma noção intuitiva, que o uso de material reciclado é uma forma de reduzir impactos ambientais, entretanto isso nem sempre é verdade, pois os processos de reciclagem podem acarretar impactos ainda maiores que os da fabricação de um produto que não incorpore materiais reciclados. Colocado de outra forma, o problema consiste no fato de existir um critério prescritivo que contabiliza pontos para a inclusão, por exemplo, de produtos com conteúdo reciclado, quando o melhor seria ter critérios baseados em desempenho ambiental, contabilizando pontos para reduções reais de cargas ambientais ou para a melhoria dos serviços e qualidade do ambiente interno.

O GBTool, segundo Silva (2003), constitui um exemplo de sistema, onde pontos são contemplados para critérios baseados em desempenho. Mas, segundo Cole et alli (2004), a área do conhecimento que estuda os sistemas de avaliação ainda está evoluindo e ainda não é possível incluir critérios de avaliação baseados em desempenho, para todas as questões de desempenho ambiental de uma edificação.

Para Trusty e Horst (2002), a inclusão de procedimentos de cálculos de cargas, efeitos e impactos ambientais baseados na ACV na estrutura de avaliação de sistemas de avaliação de edificações, é uma maneira de possibilitar a adoção de critérios de desempenho ambiental. Segundo Silva (2003), a maior parte dos sistemas de avaliação existentes não incorpora a ACV como ferramenta de apoio à atribuição de créditos ambientais, relacionados ao uso de materiais. Trusty (2000) afirma que alguns sistemas alegam utilizar a ACV, ou pelo menos utilizam este termo, mas não atendem aos procedimentos normalizados que caracterizam o método.

A inclusão da ACV na estrutura de análise de sistemas de avaliação ambiental de edificações, encontra duas principais barreiras (TRUSTY; HORST, 2002):

- a) problemas de disponibilidade de dados;
- b) ausência de valores de referência para julgar os resultados específicos de uma edificação.

A falta de dados facilmente acessíveis, atualizados e dispostos em uma base de dados ligada a um sistema de análise, exige a coleta de dados específicos, o que pode constituir uma tarefa inviável para a aplicação de sistemas baseados em ACV. Segundo Trusty e Horst (2002), em um horizonte temporal de longo prazo, espera-se que a integração da ACV para avaliações de edificação resulte em benefícios, não apenas para uma maior compreensão sobre a atribuição de créditos de desempenho ambiental, mas também para reduzir a complexidade e custos da avaliação.

4.5 AVALIAÇÃO AMBIENTAL NO CONTEXTO BRASILEIRO

As questões relacionadas à avaliação ambiental de produtos da construção, abordadas neste trabalho, até este item, foram propostas e desenvolvidas no contexto internacional. Nenhuma das principais iniciativas para o desenvolvimento de sistemas identificadas na bibliografia acontece no contexto brasileiro, nem em outros países em desenvolvimento. Portanto, o referencial para o desenvolvimento, para esta área de estudo no Brasil, provém de contextos de países desenvolvidos.

Esta seção trata da avaliação ambiental de produtos da construção no contexto brasileiro, e tem como objetivo apresentar as principais iniciativas, barreiras e desafios, tanto para a avaliação de materiais, quanto para a avaliação de edificações como um todo.

Os sistemas de avaliação de edificações desenvolvidos até hoje não se prestam à aplicação direta no contexto brasileiro, pois segundo Silva (2003):

- a) a forma como estes métodos avaliam é inadequada porque é necessário realizar ponderações compatíveis com as prioridades regionais e nacionais;
- b) não existem dados nacionais de ACV para a análise de materiais;
- c) o quanto deve ser atingido em cada sistema é definido em função de uma gama de fatores, específica dos contextos nacionais e regionais, sendo que não existem ainda referências adequadas para o contexto brasileiro.

Mesmo na dimensão ambiental é relevante, segundo Silva (2003), desenvolver um método à luz das prioridades, condições e limitações brasileiras, passando por um processo de amadurecimento metodológico, tal como ocorreu e continua a ocorrer nos países que já desenvolveram métodos de avaliação ambiental. Em relação a questões ambientais, existe todo um referencial de análise desenvolvido, conforme foi apresentado anteriormente, e que pode constituir base sobre a qual se constrói, a partir de adaptações, um sistema nativo e adequado para as condições brasileiras. Para as demais dimensões da sustentabilidade, o esforço de inclusão em sistemas de avaliação carece de referências e deverá demandar maiores esforços.

Em relação à avaliação ambiental do ciclo de vida de materiais de construção, existem no Brasil, algumas iniciativas que se passa a apresentar. Sperb (2000) realizou a caracterização de impactos ambientais dos materiais empregados nas coberturas e paredes externas de cinco tipologias de habitação de interesse social na Vila Tecnológica de Porto Alegre. O método adotado pela autora para a caracterização de impactos incluiu no escopo quatro critérios ambientais:

- a) exploração de recursos naturais;
- b) conteúdo energético;
- c) gastos energéticos em transporte;
- d) potencial de reciclabilidade.

Os resultados apresentados por Sperb (2000) constituem caracterizações quantitativas para os critérios de conteúdo energético e gastos em transporte e, qualitativas, em relação aos dois outros critérios considerados. O escopo do método de Sperb (2000) não possibilita uma avaliação exaustiva dos impactos relacionados aos materiais, mas constitui um ponto de partida para a avaliação ambiental de materiais de construção.

Grigoletti (2001), por sua vez, realizou a caracterização de impactos da indústria de cerâmica vermelha no estado de Rio Grande do Sul. Incluiu no escopo do estudo impactos ambientais relacionados a recursos naturais, energia, resíduos sólidos e líquidos, emissões aéreas, recursos humanos e ao produto acabado. Os impactos considerados foram caracterizados de forma qualitativa e algumas diretrizes foram apontadas para a otimização dos processos envolvidos na indústria de cerâmica vermelha.

O trabalho de Grigoletti (2001) teve continuidade no de Manfredini (2003). O rol de categorias de impacto considerado por Manfredini (2003) abrange a matéria-prima, fontes energéticas, emissões gasosas, geração de resíduos sólidos e recursos humanos. O escopo do estudo se aproxima bastante do utilizado por Grigoletti (2001), entretanto, acrescenta dados quantitativos em relação às categorias de fontes energéticas e energia incorporada, assim como alguns aspectos relativos aos recursos humanos. Os dados, entretanto, não são representativos para todo o estado do Rio Grande do Sul, devido a questões relacionadas ao tipo de amostragem utilizada, mas podem ser considerados um avanço para a compreensão dos impactos ambientais relacionados a um setor produtivo heterogêneo e de difícil avaliação.

Carvalho (2002) realizou um estudo de ACV para a manufatura de cimento Portland no Brasil, abrangendo impactos relacionados ao aquecimento global, acidificação, consumo de energia elétrica, nitrificação e emissão de particulados. O estudo fornece dados quantitativos sobre as categorias de impactos consideradas e, dentre os trabalhos estudados, constitui a única aplicação no Brasil da ACV, conforme normalizada pela ISO 14040, para um material de construção.

Soares et alli (2002) desenvolvem um estudo, ainda não concluído, de ACV para a manufatura de produtos do setor cerâmico (placas, blocos e telhas) para a indústria da Construção Civil, abrangendo questões relacionadas à energia, emissões gasosas, uso de água e resíduos sólidos. No segundo relatório de uma série esperada de quatro, são apontados alguns dados quantitativos sobre as questões ambientais consideradas, mas ainda sem proposições definitivas sobre os impactos causados, o que provavelmente venha a ocorrer nos relatórios seguintes.

Apresentado um panorama geral sobre a análise de aspectos ambientais relacionados a produtos da construção, para o nível de agregação de materiais e componentes, são apresentados a seguir, as iniciativas para os sistemas de avaliação ambiental de edificações.

No principal documento de referência sobre avaliação de ambiental identificado, Silva (2003) trata sobre a avaliação da **sustentabilidade** de edifícios de escritórios brasileiros, estabelece diretrizes e base metodológica para o desenvolvimento de um sistema de avaliação de edificações comerciais. O trabalho de Silva (2003) constitui a principal referência, no contexto brasileiro, a respeito do desenvolvimento de um sistema de avaliação adaptado a necessidades específicas do país.

O desenvolvimento de métodos e sistemas de avaliação no Brasil, apesar de dispor de referências externas, como ponto de partida, deverá passar por um processo de amadurecimento e aperfeiçoamento. Uma série de especificidades do contexto brasileiro deverão ser introduzidas e, em relação a dimensão ambiental, é possível citar algumas questões específicas e como podem refletir em diferenças, em relação aos métodos e sistemas de referência internacionais (SILVA, 2003):

- a) o controle de emissões de CO₂: a emissão de CO₂ na produção de materiais é mais relevante que a de operação, exigindo mais critérios para verificar a

otimização neste sentido. Durante a operação da edificação não é relevante, visto que,

- a necessidade de refrigeração é maior que a de aquecimento;
 - a matriz elétrica brasileira é baseada, principalmente, em hidroeletricidade (embora com tendências de modificações desta situação);
 - apenas uma pequena parcela da energia para aquecimento provém de combustível fóssil;
 - o uso do chuveiro elétrico é predominante;
- b) a eficiência energética poderia ser promovida, inicialmente, a partir de critérios prescritivos, orientados a adoção de dispositivos, criando um contexto propício para futura adoção de critérios de desempenho;
- c) o nível de sofisticação dos critérios ambientais deverá ser mais baixo do que o adotado nas ferramentas estrangeiras;
- d) a inclusão de critérios para avaliar o fornecimento de um plano de manutenção e manual detalhado para o usuário, devido a cultura de curto prazo que prepondera no Brasil;
- e) inclusão de critérios para avaliar o desperdício de materiais.

Uma vez apresentada e justificada a necessidade de desenvolver sistemas para avaliação ambiental de produtos da construção no contexto brasileiro, deve-se levar em conta no desenvolvimento de estudos, as limitações existentes em termos de dispersão de estudos, ausência de dados confiáveis, conhecimento e interesse sobre questões ambientais por conta dos agentes envolvidos na tomada de decisão (SILVA, 2003; SPERB, 2000).

5 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta a estrutura de avaliação ambiental de subsistemas de coberturas, delineada conforme a figura 15. Inicia-se pela definição do contexto de aplicação da estrutura, constituído por objetivo e meta geral, escopo, limites e unidade funcional. Em seguida, está o processo utilizado para a definição dos critérios, envolvendo a definição de diretrizes, metas específicas, e por fim, a definição dos critérios propriamente ditos.

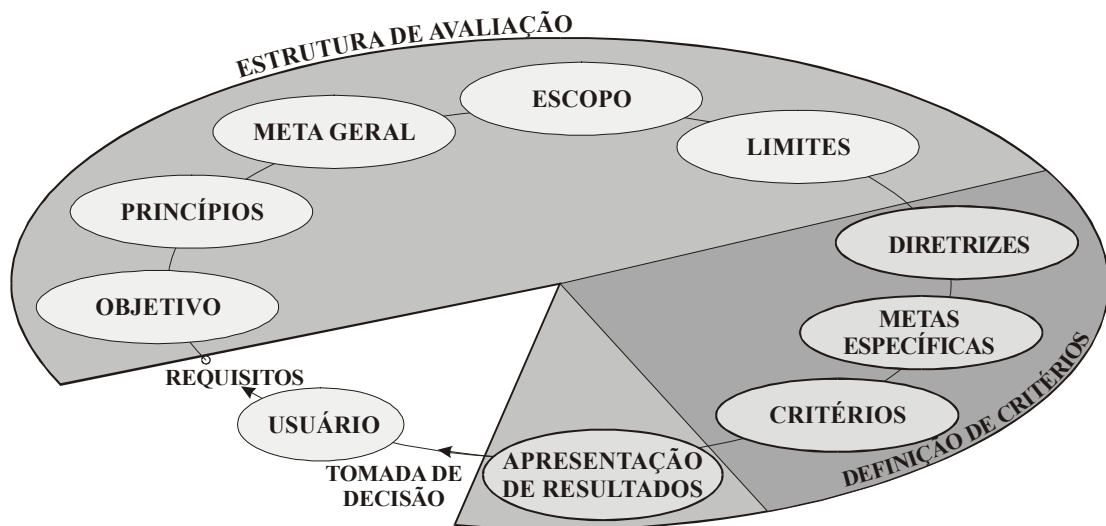


Figura 15: delineamento do processo para a definição da estrutura de avaliação

5.1 DEFINIÇÕES INICIAIS

O objetivo geral da estrutura de avaliação é a melhoria dos serviços proporcionados pelo subsistema de cobertura, entendidos como impactos ambientais positivos, e de redução de impactos ambientais negativos, ao longo de seu ciclo de vida. Em função deste objetivo, são apresentados os princípios da avaliação:

- a) deve-se considerar as implicações, em termos de impactos ambientais avaliados, associados aos subsistemas de cobertura, ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração de recursos para a fabricação de materiais até a disposição final dos mesmos;

- b) a avaliação fundamenta-se no uso de critérios de avaliação, que estão associados a **impactos ambientais relevantes**, sejam positivos ou negativos, e que sejam possíveis de serem caracterizados;
- c) impactos ambientais relevantes são entendidos como os que,
 - ocorrem em qualquer escala de amplitude espacial: interior da edificação, local, regional ou global;
 - podem causar danos, ou alterar de forma negativa ou positiva, os meios natural e construído, afetando receptores do meio abiótico (recursos minerais), biótico (fauna e flora, incluindo o homem), sendo de grande magnitude (intensidade) ou irreversíveis.

A meta geral é estabelecer uma estrutura simplificada para avaliação e caracterização dos impactos ambientais relacionados a subsistemas de cobertura, possibilitando o apoio à tomada de decisão. Deverá, também, possibilitar a educação ambiental de agentes, por meio da explicitação de prováveis conseqüências ambientais associadas aos diferentes subsistemas de cobertura possíveis de serem aplicados em projeto. A estrutura é dita simplificada, pois é definida levando-se em conta que há um nível incipiente de informações ambientais sobre o ciclo de vida de materiais de construção, bem como de capacitação de agentes da tomada de decisão a respeito de aspectos ambientais no Brasil. Desta forma, a avaliação ambiental é limitada, tanto pela indisponibilidade de dados, quanto pela indisponibilidade de modelos e conhecimento científico suficiente dos mecanismos ambientais envolvidos.

O escopo da estrutura abrange aspectos ambientais, com foco nos impactos ambientais apresentados no quadro 5. São caracterizados segundo a abrangência e reversibilidade, sendo relacionados a possíveis fatores de caracterização. A abrangência representa o alcance, em área, dos efeitos da alteração. A reversibilidade reflete a possibilidade de cessar os efeitos decorrentes de uma alteração, sem adoção de medidas mitigadoras, caso a ação que provoque seja interrompida. Os fatores de caracterização são entendidos como variáveis dos mecanismos de causa e efeito, relacionados aos impactos e passíveis de serem caracterizados de forma qualitativa ou quantitativa.

Impacto	Abrangência	Reversibilidade	Fatores de Caracterização
Mudança climática	Global	Parcialmente reversível	Emissões de CO ₂
Depleção de recursos abióticos	Global	Irreversível ¹	Uso recursos minerais Uso de combustíveis fósseis Reciclagem/reuso de recursos
Depleção de recursos bióticos (madeira)	Local/ Regional	Irreversível ¹	Uso de madeira reflorestada Uso de madeira certificada
Qualidade do ambiente interno (da temperatura)	Interno	Irreversível ²	Características de resistência térmica do subsistema
Toxicidade ao ecossistema (meio biótico)	Local/ Regional	Irreversível	Emissão de resíduos tóxicos
Degradação do ambiente (meio abiótico)	Local/ Regional	Parcialmente reversível	Disposição de resíduos inertes

(1) para o caso de extinção de uma espécie animal ou vegetal, mas reversível caso ainda haja condição de reprodução da espécie

(2) considera-se como atuação humana para reverter o impacto, a climatização ativa por meio de equipamentos.

Quadro 5: caracterização de impactos, quanto à abrangência, reversibilidade, e fatores de caracterização

A inclusão de impactos relacionados ao espaço interior da edificação ocorre em função das peculiaridades da avaliação de edificações apontadas anteriormente. Outros impactos, tradicionalmente incluídos em avaliações ambientais e ACV, tais como danos à camada de ozônio e formação de oxidantes fotoquímicos, são excluídos devido à dificuldade de obtenção de dados para caracterização dos mesmos. Vale ressaltar que a definição de um universo limitado de impactos a serem considerados, constitui uma decisão subjetiva, determinada, aqui, pela relevância dos impactos para aspectos do setor da construção, para o contexto local e regional do escopo do estudo, e pelas possibilidades técnicas e científicas de entendimento dos mesmos.

Além de aspectos ambientais, foram incluídos no escopo da avaliação alguns aspectos de **desempenho funcional**, que interferem diretamente no desempenho ambiental do subsistema.

Por outro lado, não estão considerados na estrutura:

- a) questões relacionadas à gestão dos processos e atividades, ao longo do ciclo de vida dos subsistemas, inclusive as relacionadas ao período de execução da edificação;
- b) aspectos relativos a custos;

- c) aspectos de projeto dos possíveis subsistemas, referentes à orientação e à presença de artificios de iluminação por meio da cobertura.

Na ausência de dados abrangentes sobre as cargas ambientais, posicionadas no início dos mecanismos ambientais, como é o caso do contexto de aplicação da estrutura proposta, optou-se por trabalhar com um número reduzido de cargas ambientais. Este número é insuficiente para caracterizar os impactos, tal como é feito em ACV, mas suficiente para explicitar algumas possíveis conseqüências do uso de determinados subsistemas. Por exemplo, emissões de CO₂, podem indicar impactos de alterações climáticas, embora não se indique precisamente qual o impacto final em termos de aquecimento global. É possível, neste caso, apenas apresentar um modelo do mecanismo ambiental, que aponta apenas alguns dos possíveis impactos intermediários, ou finais, resultantes das cargas caracterizadas. Os dados referentes às cargas ambientais, são classificados, basicamente, em três categorias:

- a) consumo de recursos: aportes materiais e energéticos que ocorrem desde a extração de recurso para a manufatura de materiais;
- b) geração de emissões e resíduos: emissões aéreas e resíduos sólidos e líquidos gerados nas diversas etapas e processos do ciclo de vida dos subsistemas e que são lançados sobre o meio ambiente;
- c) qualidade do ambiente interno: carga térmica que influenciará, o ambiente interno.

Os dados levantados para a caracterização de critérios de avaliação devem atender, inicialmente, a baixos níveis de exigência, como reflexo da escassez de dados verificada no desenvolvimento da anterior. A abrangência dos dados, deve, preferencialmente, ser regional ou nacional, nesta ordem, aceitando-se, extraordinariamente, dados relativos ao contexto internacional. A abrangência temporal é indeterminada, mas deve-se dar preferência para dados relativos aos últimos 5 anos.

Os dados poderão ser determinados, quer pelo inventário de fluxos de processo específicos, quer por análises macroeconômicas. Deve ser ressaltada a origem e a sensibilidade dos mesmos junto à apresentação dos resultados. Considera-se que os dados resultantes de levantamentos detalhados de processo específicos deverão ser mais precisos, mas com a desvantagem de demandar recursos para a sua coleta e atualização. Dados resultantes de análises macroeconômicas, ao contrário, serão pouco sensíveis a tecnologias específicas, mas possibilitam acesso mais fácil e com constante atualização. É importante que para os materiais

responsáveis por grande percentual da massa dos subsistemas, sejam buscados dados com melhor qualidade. Isto pode ser feito através do uso de dados específicos dos processos e materiais considerados com abrangência adequada a regional e a temporal relativa, aos últimos cinco anos.

Os limites ou fronteiras da estrutura derivam do objeto a ser avaliado e dos processos incluídos na avaliação. Para este trabalho foi determinado como objeto de avaliação, subsistemas de cobertura de edificações habitacionais de interesse social. Tal subsistema responde a uma parcela dos requisitos totais que uma habitação deverá atender e pode ser, claramente, vinculado à função de abrigo. Esta pode ser subdividida em funções específicas tais como proteção contra intempéries, isolamento térmico, acústico, segurança estrutural.

Em princípio, todos os processos relacionados ao ciclo de vida de um subsistema de cobertura deveriam ser incluídos nos limites da avaliação. Entretanto, geralmente são realizados pressupostos e exclusões de alguns processos, como forma de contornar limitações e dificuldades de obtenção de dados de estimativas. Os resultados da avaliação ambiental são sensíveis aos pressupostos que delimitam as fronteiras de avaliação e, que neste caso, são:

- a) produção de energia: considerada, embora apenas de forma qualitativa, caracterizando o potencial de impactos para as diferentes fontes energéticas;
- b) produção de materiais: incluída e são considerados os processos de produção de materiais que correspondam a, pelo menos, 90% da massa do subsistema. Materiais com pequena massa, mas atrelados a aportes energéticos significativos e impactantes ou a emissões tóxicas devem ser incluídos;
- c) são consideradas possíveis substituições de materiais devido ao potencial perda de desempenho físico, mas não são considerados os aportes de energia para as atividades de reformas e substituições;
- d) o transporte de materiais é considerado entre as cidades produtoras e a cidade onde se realiza a execução da edificação. As distâncias utilizadas são as fornecidas pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (2004) e que correspondem às distâncias entre centros de cidades, descartando-se possíveis trechos urbanos entre os distribuidores intermediários e os locais da obra;
- e) são incluídas considerações sobre perdas de materiais em atividades de execução da obra;
- f) não são considerados os gastos energéticos para as atividades de execução da obra;

- g) não são computados os gastos energéticos para materiais reutilizados aplicados nos subsistemas, sejam provenientes do local da obra, sejam obtidos por outros processos;
- h) não são considerados os processo de produção de insumos dos materiais componentes. Portanto, são considerados apenas os processos imediatos para a produção dos componentes do subsistema, exceção feita a processos de produção de insumos que interfiram significativamente para aportes de energia ou que sejam atrelados a emissões tóxicas;
- i) as atividades de demolição não são consideradas, isto é, não são computados os gastos materiais e energéticos para tais atividades;
- j) o transporte de materiais e resíduos para a disposição final não é considerado.

É importante, ainda, considerar as implicações dos subsistemas de cobertura sobre o restante da edificação. Por exemplo, uma determinada solução pode implicar numa carga que torne necessário um dimensionamento estrutural diferente e, conseqüentemente, uma maior ou menor utilização de materiais em outros subsistemas da edificação. Isto poderá implicar em impactos ambientais diferentes. Para efeito de comparação, deve ser assegurado, também, que não existem, dentre as alternativas, implicações que acarretem mudanças significativas no restante da edificação. De outra forma, deve ocorrer uma expansão dos limites da estrutura de avaliação, para abranger as alterações em termos de recursos de outros subsistemas, que sejam acrescidos ou reduzidos em função do tipo de solução de cobertura adotada.

A unidade funcional prevista para a avaliação é a **área unitária de projeção horizontal (m²)**, dita aqui, simplesmente, projeção, de subsistemas de cobertura previstos para uma vida útil de projeto de **30 anos**. Este valor é adotado em função do Projeto de Norma da ABNT (referência), sendo que, estima-se que valores superiores sejam mais compatíveis com a realidade. Com relação às etapas de produção, a unidade funcional é a quantidade, em massa, dos materiais componentes do subsistema em uma área de um m² de projeção.

Para a aplicação da estrutura de avaliação, cada subsistema a ser avaliado é descrito em função da unidade funcional proposta. Isto exige que a descrição dos subsistemas, em termos de tipos, quantidade e propriedades de materiais incorporados deve preceder à avaliação ambiental, para cada m² de projeção de área coberta. Esta descrição será a base para o delineamento de um modelo simplificado dos fluxos de massa e energia no ciclo de vida dos subsistemas avaliados (figura 16), estabelecido segundo os limites da estrutura de avaliação.

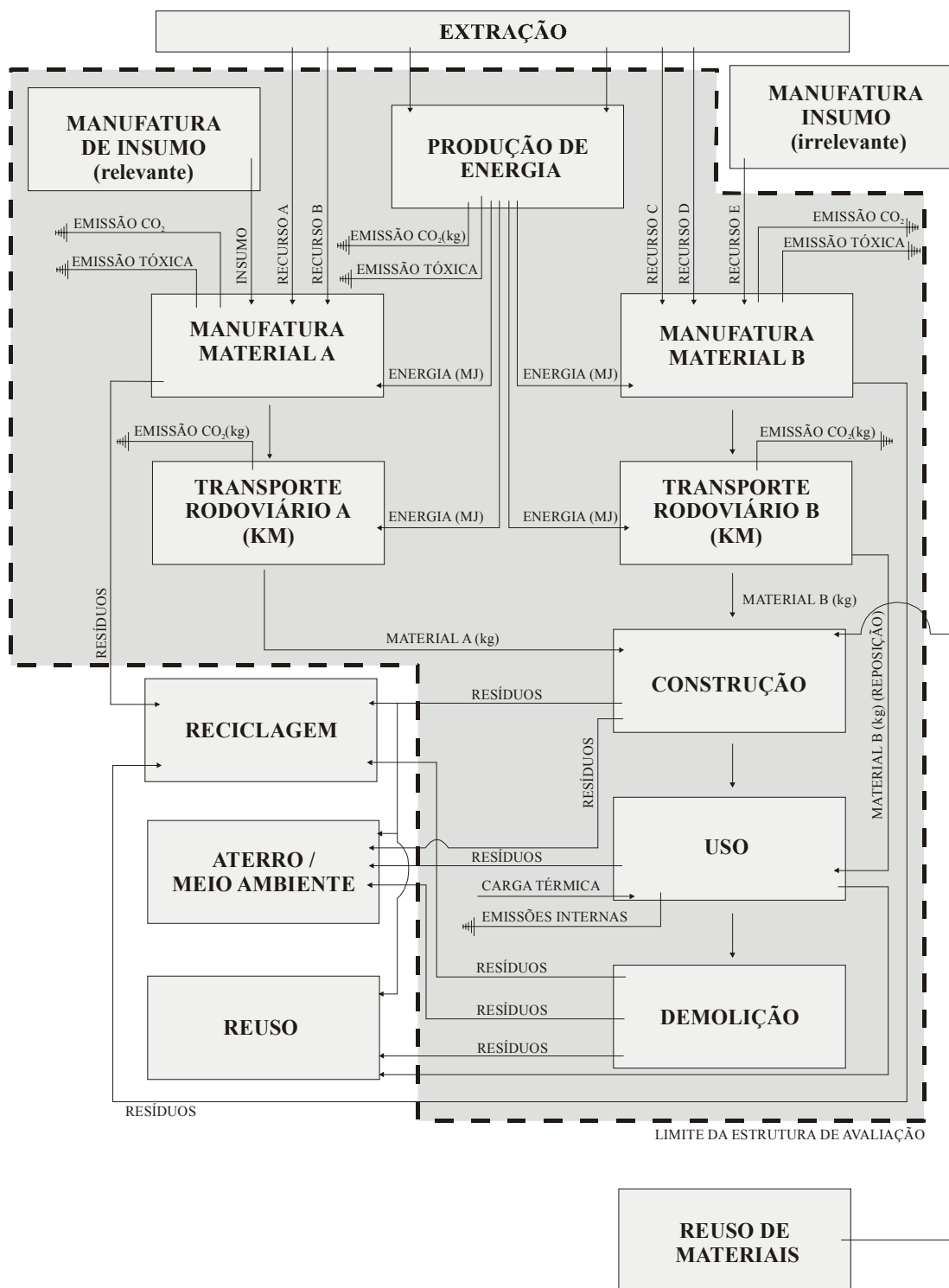


Figura 16: modelo simplificado do fluxo de massa e energia de um subsistema de cobertura hipotético

5.2 CRITÉRIOS AMBIENTAIS

A definição de critérios é uma etapa crítica para a eficácia da estrutura de avaliação, determinando de que forma a estrutura atenderá ao objetivo e à meta principal. Existem, entretanto, limitações a serem consideradas. Algumas contradições devem ser observadas pois ao mesmo tempo em que se deseja um conjunto de critérios abrangente o suficiente para caracterizar de forma eficaz todos os impactos do escopo, os dados e informações existentes, permitem caracterizar apenas alguns aspectos dos impactos. Mesmo onde há disponibilidade de dados, a qualidade destes nem sempre é adequada para uma caracterização precisa, devendo-se decidir sobre até que ponto se deve aceitar incertezas e imprecisões atreladas aos procedimentos e dados para caracterização.

Novamente, são realizadas decisões subjetivas para o desenvolvimento da estrutura de avaliação, já que não se identifica um processo dedutivo que origine critérios absolutamente únicos para a caracterização de impactos. Seguindo uma análise dedutiva que responda a uma análise ambiental abrangente e precisa, os critérios originados tendem a ser muitos e de difícil caracterização. Diante das condições reais, formas alternativas de definição de critérios devem ser consideradas, para responder às necessidades de caracterização de impactos, considerando as limitações contextuais. Considera-se, neste caso, a seleção a partir de uma lista ampla de critérios possíveis, presentes em sistemas e métodos existentes de avaliação.

Uma lista de critérios extraídos dos sistemas de avaliação GBTool (*INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT*, 2004), LEEDTM (*US GREEN BUILDING COUNCIL*, 2004), HQE (CARDOSO, 2003), EBN (WILSON, 2000), ISO/AWI 21391 (*INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION*, 2002) e em Sperb (2000) é disponibilizada no apêndice C, no CD-ROM que acompanha este trabalho. Considerou-se a seleção de um critério sempre que foi constatada pertinência, relevância, relação com impactos definidos no escopo e possibilidade de caracterização dos mesmos. É importante, ainda, a possibilidade de adaptação de critérios selecionados, de forma a torná-los adequados para aplicação, conforme os requisitos apontados anteriormente. De forma geral, o processo de definição de critério pode ser delineado conforme a figura 17.

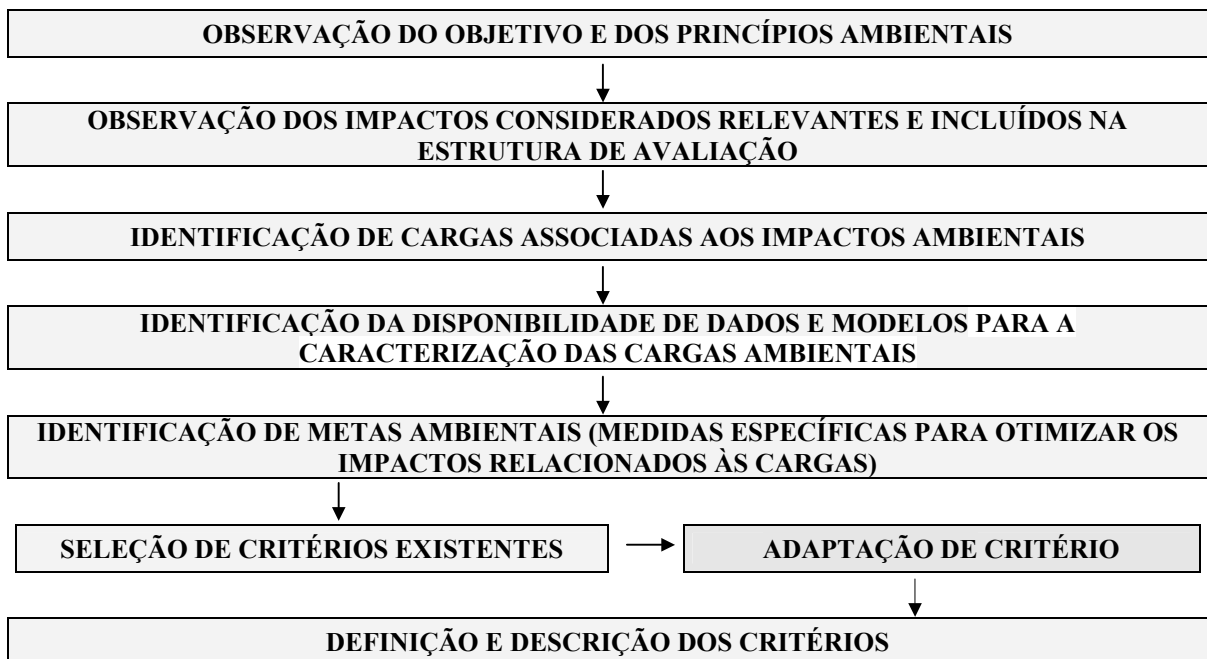


Figura 17: delineamento do processo de definição de critérios

De forma resumida, ao longo do processo delineado, devem ser observadas algumas **diretrizes** gerais para a definição de critérios:

- a) um critério deverá ter sua definição condicionada à existência de dados quantitativos ou qualitativos para a sua caracterização, a relevância em relação aos impactos do escopo da estrutura e a pertinência de aplicação;
- b) o conjunto de critérios deve ser abrangente, referindo-se aos impactos presentes no escopo e aos limites definidos;
- c) os critérios devem ter uma posição inicial na cadeia de causa e efeito, diretamente associados aos processos ou cargas ambientais;
- d) critérios podem ser prescritivos ou de desempenho, sendo que os do primeiro tipo são incluídos devido a limitações atuais do conhecimento científico, bem como da disponibilidade de dados para a caracterização de impactos ambientais; os do segundo constituem o tipo ideal de critérios a serem adotados;
- e) a caracterização do critério deve ser fruto de regras e procedimentos claros e que possuam base científica ou técnica;
- f) os critérios devem ser caracterizados a partir de dados compatíveis com as observações anteriormente realizadas.

A partir da lista de impactos do escopo da estrutura de avaliação e da identificação de cargas passíveis de caracterização ao longo da revisão bibliográfica, são apresentadas na figura 18,

algumas inter-relações. Esta figura tem o objetivo de explicitar um universo de cargas que podem ser caracterizadas e das quais podem derivar critérios de avaliação ambiental. Complementa-se a figura, adicionando os processos e receptores dos impactos, mas sem estabelecer relações diretas destes com as cargas e impactos. Acrescenta-se que a figura 18 abrange uma relação parcial das cargas ambientais decorrentes do processo e, assim, poderá ser ampliada, tornando a avaliação mais completa e eficaz. De forma semelhante, a lista de impactos poderá ser ampliada, extrapolando-se o escopo inicial da estrutura, o que proporcionaria uma avaliação mais abrangente e eficaz. A medida que se dispuser de um conjunto mais abrangente de dados para a caracterização dos impactos, pode-se prever uma tendência de aproximar a estrutura proposta de uma ACV. Desta forma, os critérios seriam deslocados dos aspectos iniciais para os impactos em posições intermediárias.

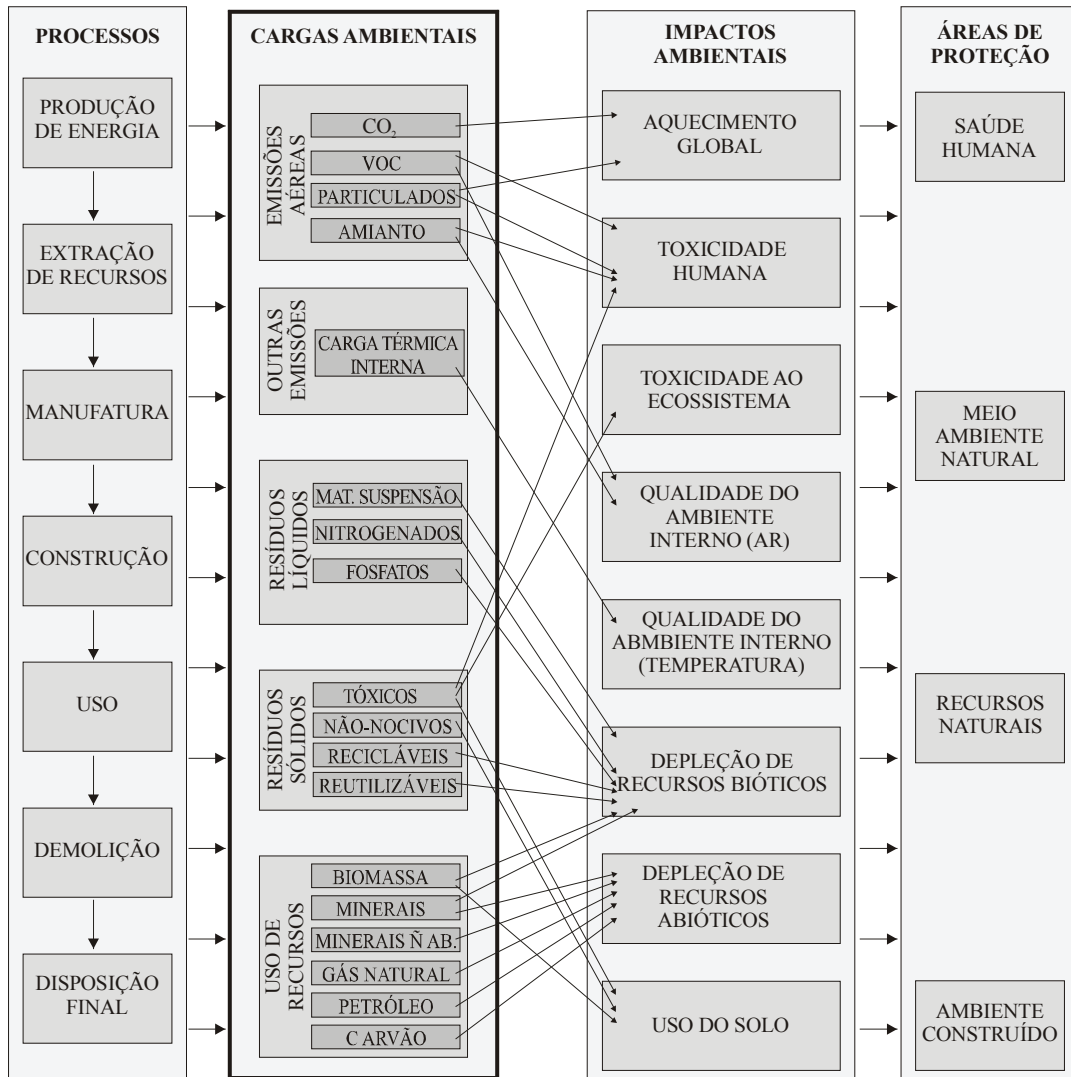


Figura 18: relação entre cargas e impactos ambientais

Uma vez apresentadas as diretrizes e delineado o processo de definição de critérios, é o passo seguinte a definição de metas específicas para mitigação de impactos, que irá influenciar diretamente na definição dos critérios de avaliação. Assim, cada critério é definido para atender as metas ambientais, identificadas como soluções ou medidas mitigadoras associadas aos impactos incluídos no escopo de avaliação. Os critérios são reunidos em três categorias: uso de recursos, emissões de resíduos e qualidade do ambiente interno.

Deve-se considerar, a possibilidade de determinação de critérios mínimos a serem atendidos pelos subsistemas, sempre que existirem valores de referências sobre parâmetros ou situações que acarretem impactos críticos ao longo do ciclo de vida dos mesmos.

5.2.1 Uso de recursos

A caracterização dos aportes de massa e energia, enfocados nesta seção, ao longo do ciclo de vida de produtos da construção é relevante para a avaliação ambiental, permitindo relacioná-los a possíveis impactos ambientais. A introdução de recursos materiais no ciclo de vida de um subsistema se concentra na extração de recursos para a manufatura, enquanto aportes energéticos ocorrem para praticamente todas as atividades, desde a extração de recursos, até o tratamento dos resíduos finais da demolição ou desconstrução de edificações. Nesta seção, o foco está no uso de recursos em relação à disponibilidade destes na natureza, e nos impactos referentes a situação de tais recursos no futuro.

5.2.1.1 Uso de recursos materiais

O setor da construção, como grande consumidor de recursos naturais, potencializa impactos de grande magnitude em função das quantidades processadas. Isto incrementa o risco de exaustão de algumas reservas, o que caracteriza um impacto provavelmente irreversível em um horizonte de tempo de algumas gerações, de abrangência local, regional ou global, na medida em que um material pode ser abundante na escala global, mas escasso na escala local ou regional.

O uso sustentável de recursos naturais é, por vezes, vinculado ao uso de recursos naturais renováveis. Tradicionalmente adota-se a classificação dos recursos naturais em renováveis e

Contribuições para a Avaliação Ambiental de Subsistemas de Cobertura em Habitações de Interesse Social

não-renováveis, atrelando-os à propriedade que estes têm de reprodutividade, bem como de escassez e geração de serviços ecológicos. Entretanto, estas classificações e vinculações podem ser questionadas. Segundo Barreto (2000), ela não é mais tão clara quanto no início do seu uso, nos anos 50, quando era diretamente relacionada à escassez. Primeiramente, por que a propriedade de reprodutividade pode ser um traço diferenciador incoerente se aplicado a recursos como água e ar, mais adequadamente relacionados a recursos com ciclos naturais. Segundo, porque, conforme questiona a autora, “se a reprodutividade é a característica que garante a abundância e a não-extinção, porquê que são exatamente os recursos reproduzíveis que estão ameaçados de extinção?”. Além disto, a propriedade de abundância não pode ser vinculada unicamente a classe de recursos renováveis, visto que alguns destes não são abundantes, enquanto, alguns recursos não-renováveis o são. Desta forma, a agregação de tais propriedades nas classes de renováveis e não-renováveis não permite criar uma diferenciação clara dos materiais e, por isso, a classificação não é utilizada neste trabalho. Assim, a sustentabilidade do uso de recursos naturais, além de estar atrelada a tais propriedades, também depende de regime de propriedade e instrumentos reguladores (BARRETO, 2000), mas que estão fora do escopo deste trabalho, à medida que, mesmo sem deixar de interferir na sustentabilidade ambiental, possuem um vínculo mais direto com as dimensões econômica e social da sustentabilidade.

Adota-se, como a propriedade passível de caracterizar a sustentabilidade ambiental de recursos naturais, de um ponto de vista estritamente ambiental, a sua abundância em escala regional. Para ser considerado como constituído por recursos abundantes, um material deverá ter os principais insumos classificados como recursos abundantes em escala regional. Entende-se por principais insumos aqueles que, reunidos, são responsáveis por, pelo menos, 90% da massa do material. O quadro 6 apresenta a condição de abundância de alguns recursos e a classificação de alguns materiais por eles constituídos. Esta condição é determinada pela presença do recurso no território brasileiro, com a existência de reservas para um período maior que 100 anos, diferente, portanto, da classificação de Brasil (2001), que classifica como abundantes os recursos com perspectiva de reservas para mais de 25 anos.

Dada a relevância de tais impactos, torna-se necessário incluir critérios que os contemplem, considerando-se as seguintes metas para a redução dos impactos decorrentes da exploração de recursos naturais:

- a) reduzir a quantidade utilizada de recursos naturais escassos;
- b) estimular a incorporação, por reciclagem, de resíduos em novos materiais, reduzindo a exploração de novos materiais, bem como a longevidade e reutilização de materiais e componentes.

Grupo	Material/ Recurso	Matéria prima básica	Abundante
Ferro e aço	Ferro		Sim ⁽³⁾
	Aço para construção	Minério de ferro, Calcário ⁽⁴⁾	Sim
Outros metais	Alumínio	Bauxita ⁽³⁾	Sim
	Chumbo		Não ⁽³⁾
	Cobre		Não ⁽³⁾
Rochosos	Areia	Sílica ⁽³⁾	Sim
	Brita		Sim ⁽³⁾
	Cimento	calcário ⁽⁴⁾ , argila ⁽⁶⁾ , gipsita ⁽⁴⁾	Sim
	Cerâmica vermelha	Argila ⁽⁶⁾	Sim
Químicos	Carbono (carvão mineral)		Não ⁽³⁾
	Carbono (petróleo)		Não ⁽⁵⁾
	Nitrogênio		Sim
	Oxigênio		Sim
	Água		Sim ⁽¹⁾
	Vinil acetato	Acetileno	Não
	Soda caustica	Cloreto de sódio	Sim
Madeiras	Ameaçadas		Não
	Reflorestadas		Sim
Fibras	Fibras vegetais		Sim
	Fibras PVA	Soda cáustica, Metanol, Vinil Acetato	Não
	Amianto		Sim
Fibrocimento	Fibras de celulose	Cimento, fibras de eucalipto, sisal, pinus	Sim
	Fibras de PVA	Cimento, fibras de PVA	Não

- (1) a água, pode ser abundante em escala regional, mas escassa em escala local, lembrando ainda, que apenas 1% da água mundial está disponível e é potencialmente consumível pelo homem
- (3) classificação do Departamento Nacional de Produção Mineral, (2001), de acordo com a definição adotada na classificação das Nações Unidas, que considera reservas prováveis e possíveis.
- (4) classificação do Departamento Nacional de Produção Mineral, (2001), conforme a metodologia do código de mineração, que não leva em conta a dimensão econômica como variável dinâmica na conceituação de recursos e reservas.
- (5) segundo Brasil (2003), as reservas provadas de petróleo equivalem à cerca de 18 anos da atual produção;
- (6) os dados utilizados, são, excepcionalmente, referentes ao estado do Rio Grande do Sul obtidos em Manfredini (2003)

Quadro 6: condição de abundância de alguns recursos naturais e materiais de construção

Recursos escassos são os que não estão disponíveis para um longo horizonte de tempo (entenda-se neste trabalho, como um horizonte em torno de 800 anos), mantida a taxa de consumo atual. O critério relacionado ao uso sustentável de recursos, na dimensão ambiental, está atrelado à abundância regional dos recursos constituintes dos materiais empregados no subsistema estudado. Com este objetivo, é verificada a presença de recursos escassos. Uma alternativa para o subsistema pode apresentar mais recursos abundantes, mas, ao mesmo tempo, poderia apresentar muitos recursos escassos, o que configuraria uma desvantagem do

ponto de vista das metas específicas definidas. Define-se, portanto, como critério, a preferência pelo subsistema com a menor quantidade de materiais compostos por recursos escassos. Isto está apresentado no quadro 7. Entretanto, como nem sempre é possível determinar o percentual de cada recurso empregado nos diferentes materiais, considera-se abundante um material composto **apenas** por recursos abundantes.

Critério	Restrição à presença de recursos escassos incorporados aos materiais
Categoria	Categoria de consumo de recursos → Consumo de recursos
Impacto associado	Depleção de recursos abióticos
Cadeia de causa e efeito	Exploração de recursos não abundantes → manufatura → disposição final em aterros → inviabilidade de recuperação → depleção de reservas
Dados necessários	Classificação dos recursos, insumos dos materiais de um subsistema de cobertura, quanto à abundância na natureza
Caracterização	Verificação da presença de uma ou mais recursos naturais escassos dentre os materiais constituintes de um subsistema de cobertura

Quadro 7: definição do critério sobre o uso de recursos escassos incorporados aos materiais

Um segundo critério, para avaliar a redução de impactos relativos à utilização de recursos naturais, trata do uso de material reciclado ou reutilizado incorporado em componentes, subsistemas ou edificações, inclusive materiais provenientes da execução da edificação ou disponíveis no local da obra. A incorporação de resíduos implica na redução de exploração de recursos naturais para a produção de novos materiais. Entretanto, muitas vezes, não se dispõe da informação sobre a proporção da quantidade de matéria reciclada incorporada em um material específico. Desta forma, inicialmente, justifica-se a adoção de um critério qualitativo que, portanto, não contempla a quantidade dos recursos reciclados empregados.

Mas, deve-se ser cuidadoso no uso deste critério, pois se entende que a caracterização qualitativa da incorporação de conteúdo reciclado, pode acarretar distorções, pois não explicita possíveis impactos ambientais negativos e limitações técnicas e de mercado dos processos de reciclagem utilizados. Desta forma, a qualificação do material reciclado deverá ser fornecida, considerando-se possíveis impactos negativos do processo de reciclagem. O quadro 8 classifica alguns processos de reciclagem, em função dos impactos negativos identificados.

Material	Processo de reciclagem	Impactos/ Limitações	Classificação
Madeira não tratada	Queima	Emissão de CO ₂	Adequado
	Reciclagem para compensados e aglomerados de madeira		Adequado
Madeira tratamento com CCA	Reciclagem para compensados e aglomerados de madeira	Emissões tóxicas no processo de reciclagem ⁽³⁾	Inadequado
	Extração de metais por meio de ação de ácidos ou bactérias, possibilitando reciclagem para usos diversos	Geração de água contaminada ⁽³⁾	Inadequado
	Uso em fornos de fabricação de cimento	Emissões tóxicas; Necessidade de grande fluxo contínuo de madeira ⁽³⁾	Inadequado
	Uso para geração de energia em termoeletricas	Geração de cinzas contaminadas dos metais (cromo e cobre); Emissões decorrentes da volatilização do arsênio ⁽³⁾	Inadequado
Cerâmica blocos e telhas	Geração de agregado	Variabilidade dos resíduos de RCD	Adequado
Resíduos de concreto	Geração de agregado	Variabilidade dos resíduos de RCD	Adequado
Alumínio	Reciclagem de ciclo fechado processo convencional – reciclagem em forno rotativo com queimadores ar-óleo	Geração de borra preta, produto formado por óxido de alumínio e sal, lixiviável e que, potencialmente, causa contaminação solo, rios e lençóis freáticos	Inadequado
	Reciclagem de ciclo fechado processo com forno aquecido por plasma ¹	-	Adequado
Aço	Reciclagem de ciclo fechado convencional	Possibilidade de emissões atmosféricas, poeiras e escórias, contaminadas por metais pesados tóxicos e compostos orgânicos persistentes ⁽²⁾	Adequado

(1) tecnologia em estágio experimental

(2) BRIGDEN et alli, 2000

(3) SOLO-GABRIELE, et alli 1998; SOLO-GABRIELE, et alli 1999

Quadro 8: classificação da adequação ambiental de alguns processos de reciclagem

De forma mais detalhada, deve-se destacar alguns aspectos dos processos de reciclagem:

- a) **do cimento amianto:** não é considerada adequada devido ao risco para a saúde, representado pelas fibras lançadas no ar na manufatura, uso e disposição final de produtos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO, 2004; JONES, 1999). Mesmo quando agregadas ao cimento como no caso de telhas, as fibras de amianto representam problemas, já que a manipulação, por meio de corte, furo ou quebra, causa a liberação das fibras;
- b) **da madeira tratada:** é considerada um resíduo tóxico em função da toxicidade dos produtos aplicados para preservação, tais como creosoto, CCA (Cromo, Cobre, Arsênio) e o pentaclorofenol, (GREEN BUILDING DIGEST, 1996b). Diversas possibilidades para a seleção e disposição final de madeira tratada com CCA são estudadas mas, ao mesmo tempo, existem diversas restrições a

serem consideradas, o que permite classificá-la, aqui, como um produto inadequado para a reciclagem (SOLO-GABRIELE et alli, 1998);

- c) **de resíduos de concreto e argamassa:** embora a reciclagem de resíduos de concreto e argamassa para geração de agregados seja objeto de vários estudos científicos em laboratório, não existe um conhecimento consolidado sobre a caracterização confiável da qualidade e variabilidade do agregado produzido em condições reais (ÂNGULO et alli, 2003). Desta forma, a utilização deste tipo de resíduo ainda está restrita para fins menos nobres, como, por exemplo, base de rodovias. Ainda assim, à luz da nova legislação brasileira para disposição de resíduos da construção (BRASIL, 2002), levanta-se a perspectiva de alteração deste cenário, para a maior geração de agregados reciclados;
- d) **do gesso:** sua reciclagem é mais complexa e demanda mais energia e mão de obra do que o processo de fabricação a partir de matéria prima virgem (JOHN, CINOTTO, 2003). Mesmo assim, os autores apontam para a importância da reciclagem, considerando os riscos de formação de gás sulfídrico (H_2S) quando o gesso entra em contato com umidade em condições anaeróbias, com baixo pH e sob ação de bactérias redutoras de sulfatos. Outra questão relevante é que a presença de gesso em resíduos de demolição implica em restrições para a geração de agregado reciclado. A reciclagem do gesso, como aglomerante, é possível, desde que removidos contaminantes e ocorra calcinação a baixas temperaturas;
- e) **do alumínio:** possui um balanço energético e econômico favorável, estimando-se um consumo de 15 a 20 vezes menor para o produto reciclado, reduzindo, também, os impactos com mineração de bauxita e de geração de lama vermelha (CRUZ; TENÓRIO, 1999). Entretanto, os autores alertam para a presença de aspectos negativos no processo tradicional de reciclagem, baseado em fornos rotativos com queimadores ar-óleo, tal como a emissão da borra preta, um produto formado por óxido de alumínio e sal, lixiviável e que, potencialmente, pode contaminar solo, rios e lençóis freáticos. Entretanto, a gestão do processo pode mitigar tais efeitos negativos, permitindo considerar o processo adequado. Ressalta-se ainda, o processo alternativo de reciclagem, em desenvolvimento no Brasil, baseado em um forno de plasma, e que elimina resíduos tóxicos do processo e representa uma economia de energia de até 97% em relação à produção do alumínio primário (ANTENOR, 2004).

Outro critério para avaliação ambiental dá preferência aos subsistemas constituídos por menor quantidade de materiais sem conteúdo reaproveitado (reciclado ou reutilizado), desde que verificado que o processo de reciclagem não gera, potencialmente, impactos superiores aos de produção de um componente sem conteúdo reciclado. A definição deste critério, na forma de negação dos materiais sem conteúdo reciclado, ocorre para evitar distorções que podem ocorrer ao se privilegiar materiais com maior conteúdo reciclado. Por exemplo, uma alternativa com maior percentual de recursos reciclados pode possuir, também, maior

quantidade de recursos não reciclados, e desta forma, deve ser preterido. Isto está apresentado no quadro 9.

Critério	Preferência por subsistemas com menor quantidade de materiais sem recursos reaproveitados¹
Categoria	Uso de recursos
Impacto associado	Depleção de recursos abióticos Depleção de recursos bióticos (madeira)
Cadeia de causa e efeito	Inserção de material reciclado no processo de produção → redução da exploração de recursos → prolongamento da disponibilidade de recursos
Dados necessários	Classificação dos processos de reciclagem em relação à extração de novos materiais; composição dos materiais e componentes; percentual de cada insumo (alternativo)
Caracterização	Verificação da presença de uma ou mais substâncias recicladas; verificação de possíveis impactos dos processos

(1) desde que verificado que os processos de reciclagem não representem impactos superiores aos da produção a partir de recursos novos, e sendo impactantes, a massa correspondente deverá ser contabilizada na caracterização do critério, como recurso não reciclado

Quadro 9: definição do critério sobre uso de recursos reciclados ou reaproveitados

Um recurso particularmente relevante para a composição de subsistemas de cobertura é a madeira, visto que é amplamente utilizado em estruturas de coberturas de habitações de interesse social (RODRIGUES; RUSCHEL, 2002). Segundo Sobral et alli (2002 apud INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003), 50% da madeira serrada amazônica consumida pela Construção Civil, no estado de São Paulo, em 2001, se destinou para estruturas de coberturas.

Segundo o site Ambiente Brasil (2000a), o consumo de madeira no Brasil, no ano de 1998 foi de 204.429.000 m³, sendo 67.228.000 m³ (33%) de madeira nativa e o restante, 137.201.000 m³ (67%) de madeira de reflorestamento. Já a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2004) salienta o consumo de madeira industrial em toras, no Brasil, em 2000, indicando que foi de 166.310.000 m³ (quadro 10). Apresentam que, aproximadamente, 61% deste montante provém de florestas plantadas, ou seja, é madeira de reflorestamento, e os 39% restantes, de florestas nativas. Estas fontes não indicam sobre os percentuais de madeira certificada. Deve-se considerar relevante, o percentual entre 61 e 67% de madeira de reflorestamento consumida. Entretanto, da parcela destinada à produção de madeira serrada, normalmente utilizadas em estruturas de coberturas, apenas 30% provem de florestas plantadas, o que indica um predomínio de madeiras de florestas nativas para esta finalidade.

Produto	Nativas	Plantadas	Total
Celulose e Papel	-	32.000	32.000
Carvão Vegetal	11.800	33.400	45.200
Lenha Industrial	16.000	13.000	29.000
Serrados	34.000	15.100	49.100
Lâminas e Compensados	2.050	3.960	6.010
Painéis Reconstituídos: MDF, aglomerados, chapas de fibra	-	5.000	5.000
Total	63.850	102.460	166.310

Quadro 10: consumo de madeira industrial em toras no Brasil no ano de 2000 (1.000 m³)
(SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2004)

A extração da madeira de florestas nativas, acarreta sérios problemas sobre ecossistemas, perturbação e ameaças de espécies animais e vegetais, criando impactos de grande magnitude, visto o volume de madeira extraído e utilizado no Brasil. O consumo de madeira certificada proveniente de florestas nativas com manejo sustentável e de madeira de reflorestamento são tidos como soluções para reduzir os impactos negativos da forma de uso da madeira. Segundo o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (2004), um grupo de 59 empresas realiza o consumo de madeira certificada no Brasil e demanda, atualmente, 1.000.000 m³ de madeira bruta certificada. Isto constitui apenas um pequeno percentual da madeira consumida no País. Além disso, ainda segundo a mesma fonte, o mercado exterior é mais atraente que o interno. Entende-se, portanto, que a produção tende a ser direcionada para fora do país reduzindo a oferta interna.

Algumas espécies de madeira de florestas nativas, tradicionalmente empregadas na Construção Civil, encontram-se ameaçadas e, portanto, seu uso deve ser evitado (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2004). Devem ser buscadas alternativas, tais como as apontadas pelo IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003), conforme o quadro 11.

É coerente, portanto, a introdução de um critério relativo ao uso da madeira, a exemplo do que ocorre em alguns sistemas de avaliação (*U.S. GREEN BUILDING COUNCIL*, 2004; *INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT*, 2004), sendo aqui definido, conforme o quadro 12, como a preferência por subsistemas com a menor quantidade de madeira nativa não certificada. Espécies alternativas, tais com as recomendadas pelo IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003), provenientes de florestas nativas não certificadas são igualmente contabilizadas como

impactantes, pois, embora possam ser abundantes, a extração pode acarretar problemas de disponibilidade e impactos ambientais negativos, devido a falta de controle e gerenciamento.

Uso	Pesada interna	Leve externa e leve interna estrutural	Leve interna com aspecto decorativo relevante	Leve interna com aspecto decorativo não relevante
Elementos/aplicação	Vigas Caibros, Pranchas Tábuas	Tábuas Pontaletes (uso temporário) Ripas Caibros	Forros Painéis Lambris Guarnições	Forro Lambris Guarnições
Espécie tradicional	Peroba-rosa	Pinho-do-paraná	Imbuia	Pinho-do-paraná
Alternativas nativas	Angelim-pedra Angelim-vermelho Angico-preto Bacuri Goiabão	Cambará Angelim-pedra Cedrinho Jacareúba	Angelim-pedra Bacuri Cerejeira Freijó Pau-roxo	Cambará Cedrinho Quaruba
Alternativas de reflorestamento	Eucalipto (<i>Eucalyptus tereticornis</i> , <i>E. citriodora</i> , <i>E. saligna</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i> , <i>E. saligna</i>)	Grevilea (<i>Grevillea robusta</i>)	Eucalipto (<i>Eucalyptus grandis</i> e <i>E. saligna</i>), Pinus (<i>Pinus spp.</i>)

Quadro 11: tipos de madeiras tradicionais e alternativas para usos na Construção Civil (adaptado de INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003)

Este critério valoriza, como positivo, o uso de madeira de reflorestamento, mesmo não certificada, e assim, não promove, necessariamente, o uso de madeira certificada, que seria o resultado mais positivo de um critério de avaliação. A medida em que a oferta interna de madeira certificada crescer, permitindo o acesso e emprego de tais madeiras a um custo acessível, o critério de avaliação poderá restringir o uso de qualquer madeira não certificada.

Critério	Preferir subsistemas com a menor quantidade de madeira nativa não certificada
Categoria	Depleção de recursos bióticos (madeira)
Impacto relacionado	Preservação de espécies de árvores
Cadeia de causa e efeito	Uso de madeira de florestas manejadas ou de reflorestamento → resguardo de espécies ameaçadas
Dados necessários	Identificação da quantidade de madeira aplicada; identificação do tipo e procedência da madeira aplicada
Caracterização	Percentual massa das madeiras que são certificadas, de reflorestamento, ou procedentes de florestas manejadas de forma sustentável, conforme o quadro 11

Quadro 12: definição do critério sobre uso de madeira

5.2.1.2 Aportes energéticos para processos de manufatura

Para Kotaji et alli (2003), os maiores aportes energéticos em edificações ocorrem, em geral, na etapa de uso de uma edificação, representando aproximadamente, 80 a 90% da energia utilizada ao longo do seu ciclo de vida, sendo o restante empregado na extração de recursos naturais, manufatura de materiais e nas atividades de disposição final de produtos. Entretanto as autoras alertam que, com o aumento da eficiência energética das edificações, e com a estruturação das matrizes energéticas com fontes menos poluentes, espera-se que a energia utilizada na manufatura de materiais represente um percentual maior da energia total do ciclo de vida de uma edificação. Sperb (2000) salienta que há divergências quanto à relevância da energia aportada para a extração de recursos e manufatura de materiais e componentes, mas conclui que não se deve descartar a relevância desta questão.

Existem dois conceitos básicos para a análise de conteúdo energético de materiais (SPERB, 2000):

- a) índice energético: corresponde à quantidade de energia consumida para a produção de uma unidade de massa do material produzido;
- b) conteúdo energético: definido como o produto do índice energético pela massa de um determinado material utilizado em uma edificação.

Segundo Tavares e Lamberts (2004) o índice energético de um produto ou serviço pode ser estimado através de dois métodos, a partir:

- a) da análise das etapas de um processo e respectivos fluxos energéticos;
- b) de matrizes insumo-produto, utilizando dados macro-econômicos.

Alcorn e Baird (1996) além dos dois métodos citados anteriormente, acrescentam a análise estatística de dados nacionais. Estes autores argumentam que as matrizes insumo-produto têm a vantagem de abranger todo o capital envolvido nas transações comerciais, incluindo as de energia. Desta forma, até as pequenas transações podem ser contabilizadas. Apresenta, entretanto, desvantagens, dentre outras, quanto a: mudanças tecnológicas e incertezas decorrentes do ano base. Com relação à análise de processos, os mesmos autores salientam que permitem resultados precisos e específicos, mas que existe uma demanda de esforço e tempo, que constitui o aspecto negativo do método.

Para Pullen (1996), índices energéticos de um material de mesma natureza e aplicação, obtidos através de diferentes referências, podem variar em função dos métodos de cálculo do índice ou por diferenças no processo de fabricação. O autor alerta, ainda, que, em geral, não são disponibilizadas informações sobre a precisão dos índices fornecidos. Portanto, ao se utilizar dados de índices energéticos, deve-se procurar identificar e explicitar as incertezas atreladas aos dados. No quadro 13 está uma lista de alguns índices energéticos de materiais utilizados em subsistemas de cobertura.

Devem ser considerados possíveis *trade-offs* entre desempenho funcional e o conteúdo energético de um material. Por exemplo, segundo o *Green Building Digest* (1996a), na manufatura de telhas cerâmicas, a alta durabilidade de telhas cerâmicas é obtida ao custo do consumo de uma maior quantidade de energia para etapa de queima da argila, o que, também, não implica, necessariamente, em impactos ambientais, se a fonte energética do processo de produção for limpa.

Material	Índice (MJ/kg)	Fonte	Observações
Cerâmica vermelha – telhas não esmaltadas	9,73	Manfredini, 2003	incluindo combustíveis para transporte
Telhas fibrocimento (PVA)	3,55	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	-
Telhas cimento-amianto	7,434	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (2004)	(1)
Telhas fibrocimento (PVA)	101,69	Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial	(1)
Cimento portland sem adição de escória	3,59		energia térmica e elétrica para a produção
Cimento portland 70% de adição de escória	1,25	Adaptado de Carvalho, 2003	energia térmica e elétrica para a produção
Cimento portland 50% de adição de cinza	1,88		energia térmica e elétrica para a produção
Madeira bruta serrada	3,34	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	-
Madeira dura	0,50	Lawson (1997 apud CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001)	seca ao ar livre, sem incluir transporte
Madeira dura	2,00		seca em estufa, sem incluir transporte
Madeira mole	3,40		seca em estufa, sem incluir transporte
Aço	25,58	Guimarães	-
Areia / brita	0,07	(1985 apud SPERB, 2000)	-

(1) os índices apresentados pelo Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (2004) incorporam processos tais como o transporte das fibras desde de sua origem no Japão até a indústria em Portugal e o transporte para distribuição da mercadoria, sendo que os demais índices não chegam a incorporar tais processos. Uma vez adotado, este valor tende, provavelmente, a superestimar os resultados. Considere-se, ainda, que não foi possível desagregar este índice energético, de forma a identificar um valor que se considerasse compatível aos dados das demais fontes. Na falta de dados mais adequados, os valores indicados por Guimarães (1985 apud SPERB, 2000) para telhas de fibrocimento de amianto no Brasil são utilizados para substituir os valores das telhas de PVA, devendo-se considerar, que, neste caso os valores reais tendem a ser superiores, vista a diferença entre os índices determinados por Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (2004).

Quadro 13: índice energético de materiais de construção

O conteúdo energético de um material pode, portanto, ser atrelado ao conceito de durabilidade. O CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 2004) define durabilidade como a capacidade de uma edificação, ou parte dela, de desempenhar uma função, ao longo de um período de tempo, sob a influência de agentes externos e internos. Um desdobramento numérico do conceito de durabilidade é, segundo John e Aroztegui(1985), o conceito de vida útil, definido pelo CIB (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 2004) como o período de tempo depois da instalação, durante o qual, todas as condições de uma edificação, ou parte dela, atendem ou excedem aos requisitos de desempenho.

Os conceitos de durabilidade e vida útil são, tradicionalmente, relevantes para a avaliação de novas soluções construtivas, seleção de produtos e projetos mais adequados e econômicos para uma determinada situação e para prever e avaliar custos de manutenção em cada período do ciclo de vida de um edifício (JOHN, 1988). Mais recentemente, a discussão sobre desenvolvimento e construção sustentável, levantou questões tais como análise do ciclo de vida, reciclagem de materiais, uso de produtos substitutos (SJÖSTRÖM, 2000). Dito de outra forma, existem relações entre a durabilidade e vida útil de produtos e o seu desempenho ambiental. Por exemplo, uma alternativa de cobertura com pequenos impactos ambientais relacionados a sua produção e construção, mas que apresente um processo de degradação rápido, com redução dos níveis de desempenho (térmico, por exemplo) e que alcance precocemente o estágio de ruína, acarretará impactos ambientais relacionados à perda da qualidade do ambiente interno e à substituição de componentes.

No âmbito brasileiro, o Projeto de Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de NORMAS TÉCNICAS, 2002c) estabelece uma referência para a determinação da vida útil de projeto de subsistemas de cobertura, conforme apresentado no quadro 14.

Elementos	Vida útil de projeto (anos)		
	M ⁶	S	E
Estruturas de cobertura	≥15	≥20	≥30
Telhados, revestimentos de tetos	≥ 10	≥ 15	≥ 20

Quadro 14: vida útil de projeto para os diferentes elementos e componentes de cobertura da construção habitacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002c)

O texto do Projeto de Norma afirma que os elementos, componentes e instalações das edificações habitacionais, submetidos a intervenções periódicas de manutenção e conservação, segundo instruções específicas do fornecedor, devem manter sua capacidade funcional durante toda a vida útil prevista no projeto.

Segundo John e Agopyan (2000), de forma geral, os profissionais brasileiros da área de construção, mesmos os acadêmicos, não possuem formação que os capacite a avaliar a durabilidade das soluções construtivas, com exceção de alguns profissionais da área de concreto armado. Portanto, não se dispõe de dados precisos sobre a durabilidade e vida útil dos materiais e componentes de uma cobertura, ao mesmo tempo em que estimativas neste sentido são necessárias para se tratar de impactos ambientais de edificações. Desta forma, se faz uma previsão subjetiva da vida útil de alguns materiais empregados em subsistemas de cobertura (Quadro 15).

	Material	Vida útil estimada (anos)
Estrutura	Madeira – tratamento CCA	+30
	Madeira – tratamento alternativo	15
	Perfis metálicos de aço	+30
	Concreto	+30
Telhado e revestimento	Telhas cerâmicas	+30
	Telhas de fibrocimento c/ amianto	+30
	Telhas de fibrocimento s/ amianto	+30
	Telhas de alumínio	+30
	Chapas metálica para isolamento	+30

Quadro 15: estimativa de vida útil para alguns materiais de construção

⁶ Embora o Projeto de Norma não indique, as iniciais M, S e E, significam, provavelmente, as denominações mínimo, superior e elevado, correspondente a níveis crescentes de desempenho.

A partir de avaliações subjetivas sobre as características dos produtos e das condições às quais estão expostos, é possível associar cada material ou componente, constituintes do subsistema, a um dos níveis de desempenho exigidos. Por exemplo, se o subsistema, como um todo, tem uma vida útil de projeto de 30 anos, e as telhas possuem vida útil estimada em 10 anos, será necessário se acrescentar duas vezes o conteúdo energético original deste produto, visto que são esperadas duas substituições. Desta forma, se o conteúdo energético inicial para a colocação das telhas é de 400 MJ/m² de cobertura, o conteúdo energético anual do material ao longo da vida útil de projeto do subsistema como um todo será de 3 vezes o aporte inicial do material, ou seja, 1200 MJ/ m² de cobertura.

Para considerar questões relacionadas à durabilidade de um produto com um determinado índice energético, se identifica a possibilidade de fornecer o parâmetro de conteúdo energético anual, ou seja, em função do período de vida útil de projeto, de um produto ou do subsistema. Este procedimento permite evitar distorções causadas, por exemplo, por materiais ou componentes com baixo conteúdo energético mas com pequena durabilidade, cujas substituições elevassem os impactos ambientais relativos ao consumo de energia ao longo da vida útil de uma edificação. Assim, entende-se como pertinente a aplicação de critérios de conteúdo energético de materiais vinculados à vida útil previsto para os produtos.

O critério a ser adotado contempla a preferência por subsistemas associados ao menor conteúdo energético/ano de fontes energéticas impactantes, ao longo do ciclo de vida de 30 anos (quadro 16).

Critério	Preferir subsistema associado ao menor conteúdo energético de fontes energéticas impactantes¹, ao longo do ciclo de vida de 30 anos
Categorias	Categoria de uso de recursos (combustíveis) Geração de emissões e resíduos
Impactos relacionados	Depleção de recursos abióticos (combustíveis) Mudança climática
Cadeia de causa e efeito	Queima de combustível →emissões de gases de efeito estufa →efeito estufa →aquecimento global Exploração de combustíveis fósseis →depleção de reservas
Dados necessários	Composição dos materiais e componentes; índices energéticos dos materiais ou dados sobre o consumo energético na extração de recursos e fabricação de materiais ¹ ; quantidade (em kg) aplicada de cada material; tipos de fontes energéticas utilizadas na manufatura
Caracterização	Multiplicação do conteúdo energético pela quantidade (em kg) de cada material empregado; somatório de todos os produtos

(1) a caracterização de fontes impactantes é apresentada mais adiante, no item sobre cargas ambientais decorrentes de aportes energéticos.

Quadro 16: definição de critério sobre aportes energéticos

5.2.1.3 Aportes energéticos para transporte

O transporte de produtos, incluindo o dos materiais de construção, acarreta impactos ambientais através do consumo de fontes energéticas; da emissão de gases, principalmente causadores de efeito estufa; de emissão de ruídos; da modificação de paisagens e da biodiversidade (HAYWARD; HILL, 1999 apud SPERB, 2000). Devido às grandes distâncias e ao volume de cargas transportadas, considerando-se também a alta densidade dos materiais de construção e o volume de emissões decorrentes, tais impactos tendem a ter grande magnitude, potencialmente relacionados à alterações climáticas e de ecossistemas. Segundo Economia e Energia (2002), no Brasil a modalidade rodoviária tem sido predominante nos transportes de carga e coletivo, sendo que, para tal modalidade, a participação do diesel como combustível é predominante.

Adota-se como meta, para definição de critérios relacionados aos insumos energéticos para o transporte de materiais, a redução dos aportes energéticos para transporte, estimulando-se indiretamente, o uso de materiais locais (SPERB, 2000). Será adotado como critério, a preferência pelo subsistema com menor aporte energético para transporte dos materiais que o constituem (quadro 17). O método de caracterização será o adotado por Sperb (2000). Este critério é atrelado a um segundo, referente às emissões decorrentes da queima de combustível.

Critério	Valorizar materiais com os menores aportes de energia, em MJ, e menores emissões de CO₂ decorrentes do transporte
Categoria	Categoria de consumo de recursos
Impacto relacionado	Depleção de recursos abióticos (combustíveis) Geração de emissões e resíduos
Cadeia de causa e efeito	Queima de combustível → emissões de gases de efeito estufa → efeito estufa → aquecimento global Exploração de combustíveis fósseis → depleção de reservas
Dados necessários	Quantidade, em kg, aplicada de cada material; distâncias interurbanas de transporte entre o município da manufatura e o de construção; tipo de transporte e veículo utilizado; índices de consumo rodoviário
Caracterização	Calcular, para cada material, o produto da quantidade aplicada pela distância transportada; calcular o somatório de todos os produtos anteriores

Quadro 17: definição dos critérios para o consumo de energia e emissões para transporte

O cálculo dos aportes energéticos para transporte de materiais baseia-se no produto da distância transportada pela massa e por um coeficiente energético. Tal coeficiente foi originalmente estabelecido por Sperb (2000), considerando os valores disponíveis no Balanço Energético Nacional de 1997 sobre a massa específica do diesel, referente a 852 kg/m³, e sobre o poder calorífico do diesel de 10750 kcal/kg (no Balanço Energético de 2002 é

proposto o valor de 10100 kcal/kg). O quadro 18 apresenta coeficientes adaptados para os valores de massa específica e de poder calorífico especificado em Brasil (2003), respectivamente de 874 kg/m³ e 10180 kcal/kg.

Os coeficientes apresentados devem ser utilizados considerando-se algumas limitações:

- a) são relativos a caminhões normalmente utilizados em rodovias brasileiras, com idade entre seis e sete anos, com manutenção preventiva periódica;
- b) as situações de cálculo foram previstas para caminhões com 100% de carga;
- c) podem existir imprecisões em função de diferenças na densidade e calor específico do óleo diesel;
- d) o retorno do veículo não é considerado.

Veículo	Peso bruto total combinado	Carga líquida	Rendimento	Produtividade	Coefficiente de gastos energéticos
	(t)	(t)	(km/litro)	(litro/ t.km)	(MJ/ kg.km)
Caminhão leve	6,7	4,2	7,12	0,033	1,229 x 10 ⁻³
Caminhão de 2 eixos	15,0	10,7	3,18	0,029	1,080 x 10 ⁻³
Caminhão semi-pesado 3 eixos	23,0	14,3	3,18	0,022	0,819 x 10⁻³
Cavalo 2 eixos c/ semi-reboque 2 eixos	33,0	20,0	2,60	0,019	0,707 x 10 ⁻³
Cavalo 2 eixos c/ semi-reboque 3 eixos	41,5	26,4	2,10	0,018	0,670 x 10⁻³

Quadro 18: gastos energéticos em transportes de carga no Brasil (adaptado de REIS, 1999 apud SPERB, 2000)

Pressupõe-se, ainda, que os materiais de construção são transportados por caminhões semi-pesados de 3 eixos e com cavalo de 2 eixos e semi-reboque de 3 eixos, adotando-se entretanto, para os cálculos de aportes energéticos, o índice correspondente ao primeiro tipo, que dentre as duas situações, é a de maior consumo.

5.2.1.4 Recursos energéticos para o uso da edificação

A avaliação da demanda de recursos e energia e impactos no uso de edificações é baseada na previsão de cenários futuros e métodos de cálculo que incluem, tipicamente, o aporte energético para o condicionamento ambiental, aquecimento de água, iluminação, operação de

elevadores e outros serviços técnicos. A estimativa de uso de energia é baseada em pressupostos sobre questões tais como o tipo e duração da ocupação, os requisitos e comportamento dos usuários, incluindo conforto térmico, a localização da edificação, e o clima local. Estas previsões são complexas e atrelam incertezas à avaliação.

Com relação a subsistemas de cobertura, há de se considerar que possuem um impacto relevante sobre as condições de conforto da edificação, principalmente em tipologias térreas e isoladas, gerando impacto sobre parte do consumo energético para a climatização do ambiente interno. Entretanto, quando se considera a tipologia habitacional de interesse social, os gastos com energia para climatização tendem a ser sensivelmente menores do que em habitações de alto padrão ou em edificações de países desenvolvidos, de onde provém grande parte das estimativas de consumo energético de edificações. Por exemplo, segundo Adalberth (1997), o consumo de energia, na etapa de uso, simulado para três edificações suecas, foi de 141, 148 e 128 kWh/m² ano, sendo que as parcelas destes valores utilizadas para aquecimento e ventilação foram de 73, 86 e 64 kWh/m² ano, respectivamente. O total de energia da etapa de uso, correspondeu a aproximadamente 85% da energia total utilizada no ciclo de vida das edificações, sendo que valores em torno de 50% desta parcela são utilizados para aquecimento e climatização. Estes valores indicam uma grande relevância da climatização para consumo de energia no ciclo de vida daquelas edificações.

Para se estimar o consumo energético de habitações para populações de baixa renda no Brasil, recorre-se ao estudo de Hansen (2000), realizado em Porto Alegre. Segundo a autora, em habitações para população de baixa renda, caracterizadas como edificações de alvenaria com pequena área em um pavimento, o consumo médio é de 124,8 kWh/mês, segundo a análise realizada sobre os dados fornecidos pela concessionária local - Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE). Do total de energia consumida por edificação, apenas 6% são destinados para a climatização do ambiente (HANSEN, 2000). Considera-se, ainda, que a energia utilizada para condicionamento térmico é proporcional à carga térmica incidente no interior da edificação e que esta é função de diversos elementos, tais como, esquadrias, paredes e cobertura. Esta última, pode ser relacionada, apenas, a uma fração do aporte de energia elétrica para condicionamento térmico.

Deve-se considerar, ainda, que a parcela de impactos ambientais, decorrente do uso de energia para climatização do ambiente interior de uma edificação é, no contexto brasileiro, vinculada

a fontes limpas de energia, devido a matriz energética ser predominantemente baseada em hidroeletricidade (BRASIL, 2003).

Desta forma, além de ser estimados como pouco significantes em termos quantitativos e difícil de calcular, o aporte energético para climatização de edificações de interesse social não acarreta impacto relacionado ao uso de combustíveis fósseis e de emissões de efeito estufa.

5.2.2 Geração de emissões e resíduos

Nesta categoria são propostos critérios relacionados às emissões de resíduos sólidos, líquidos e aéreos que ocorrem ao longo do ciclo de vida de um subsistema de cobertura, em função dos processos propriamente ditos e da produção de energia para tais processos.

Segundo Klang et alli (2003), a sustentabilidade ambiental está diretamente relacionada à forma como se lida com os resíduos produzidos em uma sociedade. Especificamente, no setor da Construção Civil, estas cargas podem ser consideradas relevantes:

- a) em função do grande volume de resíduos gerados: pela magnitude dos potenciais impactos;
- b) pela possível periculosidade de tais resíduos: tradicionalmente considerados inertes, mas que, muitas vezes, incorporam substâncias nocivas.

Para uma avaliação abrangente, devem ser considerados os resíduos decorrentes das atividades de toda a cadeia produtiva da Construção Civil. Isto implica em considerar impactos a montante das atividades de execução da obra e que, geralmente, não são explicitados na escolha de produtos.

Diversos impactos ambientais, tais como acidificação, aquecimento global e danos à camada de ozônio, estão potencialmente vinculados a uma ampla gama de **emissões aéreas** provenientes de processos industriais e de geração de energia. Apenas as emissões de CO₂, relacionadas a impactos de alterações climáticas, foram incluídas, caracterizadas de forma parcialmente quantitativa, no escopo do trabalho, devido a restrições na disponibilidade de dados mais abrangentes e detalhados sobre outras emissões. Deve-se considerar, ainda, a presença de emissões de substâncias danosas a saúde humana ou à flora e fauna de

ecossistemas, já que, algumas emissões, mesmo em pequenas quantidades, são nocivas devido à sensibilidade do receptor e, portanto, são relevantes.

Os problemas ambientais relacionados à disposição final de **resíduos sólidos e líquidos**, mesmo os não tóxicos, decorrem da ocupação de áreas para aterro, gerando alterações na paisagem natural, nos processos do ecossistema local e regional e na biodiversidade; dos processos construtivos propriamente ditos; dos processos industriais para produção de materiais. Normalmente, também, potencializam a proliferação de vetores de doenças e a redução de reservas de recursos naturais, considerando que, uma vez dispostos em aterros, a recuperação dos recursos para reciclagem torna-se economicamente proibitiva (*EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY*, 1997b). Diversos autores chamam a atenção para a importância do gerenciamento dos resíduos da Construção Civil (TRANKLER et alli, 1996; JOHN, 2000; SPERB, 2000; KLANG et alli, 2003) e, acrescenta-se aqui, que a mesma atenção deve ser dada para os processos anteriores à execução da obra.

Frente às considerações apresentadas sobre as emissões e geração de resíduos, identificam-se como metas para redução de impactos ambientais relativos à geração de resíduos e emissões:

- a) redução da quantidade de resíduos industriais, na produção de materiais e componentes;
- b) redução de emissões decorrentes do uso de combustíveis;
- c) redução da quantidade de entulho gerado na construção e demolição (SPERB, 2000);
- d) incentivo ao reaproveitamento (reutilização e reciclagem) de materiais, bem como de subprodutos e resíduos da extração, beneficiamento e produção;
- e) restrição ao uso de materiais que contenham ou emitam resíduos tóxicos ao longo do ciclo de vida dos subsistemas de cobertura. Resíduos perigosos, segundo a classificação da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), são os que apresentam riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo tratamento e disposição especiais em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Impactos decorrentes de resíduos tóxicos, possuem abrangência local ou regional, mas podem atingir receptores com grande sensibilidade, e por isso, possuem relevância;
- f) restrição incondicional ao uso produtos que tem por matéria-prima o amianto.

As metas apresentadas derivam de critérios atrelados às diferentes emissões e resíduos gerados, apresentados nas seções seguintes.

5.2.2.1 Emissões decorrentes dos aportes energéticos para processos

O consumo energético é um aspecto atrelado, neste trabalho, a duas formas de caracterização. A primeira, já apresentada, é uma caracterização quantitativa do consumo de energia, para produção de materiais e transporte. A segunda, trata da caracterização qualitativa dos insumos energéticos, de forma a identificar os mesmos, segundo o potencial de impactos. Esta caracterização qualitativa permite eliminar distorções ao se contabilizar e comparar um conteúdo energético de fontes não impactantes a um outro, de mesmo valor, mas decorrente de fonte impactante. Nos quadros 19 e 20 são apresentadas algumas fontes energéticas e os impactos decorrentes da sua produção e uso. Estes quadros apresentam, também, uma classificação em função do potencial de impacto que seu uso representa. A classificação de impactante decorre da identificação de emissões com potencial de impacto ambiental, seja em fontes abundantes ou não. As fontes classificadas como pouco impactantes são as abundantes ou não-abundantes que acarretam pouca ou nenhuma emissão com potencial de impacto.

Fonte	AB/ ES*	Impactos na produção, transmissão e armazenamento**	Impactos no uso	Classificação
Fontes Primárias				
Petróleo (refino)	ES	MP, SO ₂ , CO, NO ₂ , Aldeídos, Amônia ⁽¹⁾	em função da fonte secundária	Impactante
Gás natural (uso final e termoeleétrica)	ES	VOCs, benzeno, tolueno, etilbenzeno (C ₈ H ₁₀), xileno, SO ₂ ⁽¹⁾	CO, CO ₂ , quantidades reduzidas, em relação a combustíveis fósseis, de NO _x , CO, CH ₄ , N ₂ O, VOCs, SO ₂ , MP ⁽¹⁾	Pouco impactante
Carvão mineral	ES (2)	Degradação ambiental local, particulados, emissão de metano	SO _x , CO e CO ₂ , PM, NO _x ⁽³⁾	Impactante
Energia Hidráulica	AB	Perda de biodiversidade a nível regional	----	Pouco impactante
Termoeleétrica carvão	ES	N ₂ O, NO _x , enxofre ⁽³⁾ SO _x , CO e CO ₂ , PM, NO _x ⁽¹⁾	----	Impactante
Termonuclear – Urânio	ES	Rejeitos de alta, média e baixa radioatividade contaminações do ar e água decorrentes de acidentes ⁽⁴⁾	----	Impactante
Lenha	AB	Perda de biodiversidade em escala regional	Partículas, CO e CO ₂	Pouco impactante
Bagaço de Cana	AB	----	CO ₂ , SO ₂ , NO _x	Pouco impactante
Resíduos de madeira	AB	Redução de volume de aterros e produção de metano	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, PM	Pouco impactante
Solar	AB	----	----	Pouco impactante
Eólica	AB	Morte de aves, níveis de ruídos entre os 50 dB junto ao aerogerador e os 35 dB a uma distância de 450m	----	Pouco impactante

Classificação:

Impactantes: escassa ou abundante, com grandes impactos na produção ou uso

Pouco impactantes: abundante, com pequenos impactos na produção e uso

Observações

* AB/ES – ABundante / EScasso

** não são considerados os impactos para a implantação da infra-estrutura para geração de cada fonte energética

Citações:

(1) *US Environmental Protection Agency*
(1995a; 1995b)

(2) *Balanço Mineral Brasileiro/2001* (2001)

(3) *Ministério da Ciência e Tecnologia* (2004)

(4) *Macedo et alli* (2000)

(5) *Departamento Nacional de Produção Mineral*
(2001)

Quadro 19: emissões e impactos decorrentes da produção e uso de
algumas fontes energéticas primárias

Fonte	AB/ ES*	Impactos na produção, transmissão e armazenamento**	Impactos no uso	Classificação
Fontes Secundárias				
Óleo Diesel (derivado de Petróleo)	ES	VER REFINO DO PETRÓLEO	Partículas e CO ₂	Impactante
Óleo Combustível ou residual**** Aderivado de Petróleo)	ES	VER REFINO DO PETRÓLEO	CO, SO _x , NO _x , PM, metais tóxicos, , and CO ₂ , CH ₄ ⁽¹⁾	Impactante
Gasolina Óleo Diesel (derivado de Petróleo)	ES	VER REFINO DO PETRÓLEO	SO ₂ , NO _x , HC, CO, aldeídos	Impactante
GLP Óleo Diesel (derivado de Petróleo)	ES	VER REFINO DO PETRÓLEO	MP, CO ₂ , NO _x , CO, CH ₄ , N ₂ O, SO ₂	Impactante
Coque de Carvão Mineral (derivado do carvão)	ES	VOCs, benzeno, MP, CO MP, SO ₂ , CO, amônia, NO _x , sulfato de amônia, naftalina ⁽¹⁾	CO, MP***	Impactante
Eletricidade (derivado de diversas fontes primárias)	AB	Impactos na transmissão	----	Pouco Impactante
Carvão Vegetal (derivado da lenha)	AB	Ácidos acético e fórmico, alcatrão solúvel, pequena proporção de metanol (cerca de 1%) e água, Hidrogênio, CO, CO ₂ , Metano, Etano ⁽⁴⁾⁽³⁾	CO ₂ ; CO, MP	Pouco impactante

Classificação:

Impactantes: escassa ou abundante, com grandes impactos na produção ou uso

Pouco impactantes: abundante, com pequenos impactos na produção e uso

Observações:

* AB/ES – ABundante / EScasso

** não são considerados os impactos para a implantação da infra-estrutura para geração de cada fonte energética

*** como o coque participa ativamente da produção em alto-forno e aciaria, as emissões são as presentes nestes processos da siderurgia

**** O óleo combustível derivado de petróleo, também chamado óleo combustível pesado ou óleo combustível residual, é a parte remanescente da destilação das frações do petróleo, designadas, de modo geral, como frações pesadas, obtidas em vários processos de refino (Petrobrás Distribuidora S.A., 2004)

Citações:

(1) *US Environmental Protection Agency*
(1995a; 1995b)

(2) BRASIL (2004)

(3) Ministério da Ciência e Tecnologia (2004)

(4) Economia e Energia (2000)

Quadro 20: emissões e impactos decorrentes da produção e uso de algumas fontes energéticas secundárias

O procedimento para caracterização qualitativa dos impactos das fontes energéticas será a identificação do percentual do conteúdo energético de cada material (tabelas 1 e 2), correspondente a fontes impactantes de energia (quadros 19 e 20). Esta caracterização é incorporada no critério sobre uso de energia para produção de materiais, apresentado anteriormente, de forma que o valor do conteúdo energético apresentado é referente **apenas às fontes impactantes**.

Tipo de combustível	Total		Impactante		Não impactante	
	kWh/t	%	kWh/t	%	kWh/t	%
Material						
Cimento sem adição de escória ¹	998,87	100	903,00	90,4	95,87	9,6
Cimento com adição 34% de escória de alto forno (kWh/t) ¹	697,47	100	596,00	85,5	101,47	14,5
Cimento com adição 50% de escória de cinza volante (kWh/t) ¹	522,09	100	451,50	86,47	70,59	13,53
Telha cerâmica ²	2703,00	100	54,06	2	2648,94	98
Telha de fibrocimento PVA ³	28942,09	100	24311,36	84	4630,73	16

(1) energia térmica para fabricação de cimento pode provir de diversas fontes, tais como o óleo combustível e o coque de petróleo, ou mesmo, de resíduo e fontes não impactantes, embora estas tenham sido, desconsideradas

(2) dados relativos a uma única indústria com produção exclusiva de telhas (MANFREDINI, 2003)

(3) segundo os dados do INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL (2004) o impacto do consumo de combustíveis fósseis para telhas de fibrocimento com fibras de PVA é devido principalmente a produção de cimento (45%), produção e transporte de fibra (32%), consumo de eletricidade durante a fabricação das chapas (9%), e a distribuição no mercado de chapas de fibrocimento (7%), perfazendo 93% da energia incorporada. Desta forma, estima-se que 16% do total de energia não proveniente de fontes não impactantes, valor obtidos adicionando-se aos 9% de energia elétrica para a produção da telha, os 7% não considerados de fontes fósseis.

Tabela 1: matriz energética para diversos setores da indústria brasileira segundo dados relativos a análises de processos (CARVALHO, 2003; MANFREDINI, 2003)

Tipo de combustível	Total		Impactante		Não impactante	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Material						
Cimento	35,50 . 10 ⁹	100	33,06 . 10 ⁹	88,2	4,45 . 10 ⁹	11,8
Cerâmica	35,19 . 10 ⁹	100	14,81 . 10 ⁹	42,1	20,38 . 10 ⁹	57,9
Aço/ Ferro gusa	183,52 . 10 ⁹	100	168,60 . 10 ⁹	91,8	14,92 . 10 ⁹	8,2
Papel / celulose	76,62 . 10 ⁹	100	45,26 . 10 ⁹	59	31,35 . 10 ⁹	41
Geral	756,85 . 10 ⁹	100	382,40 . 10 ⁹	50,5	374,45 . 10 ⁹	49,5

Tabela 2: matriz energética para diversos setores da indústria brasileiro segundo o Balanço Energético Nacional 2003 referente a produção anual do setor (adaptado de BRASIL, 2003)

5.2.2.2 Emissões aéreas de gases de efeito estufa (GEF) decorrentes dos processos de manufatura

Emissões de gases que causam efeito estufa ocorrem tanto pelo uso de combustíveis, como por processos e reações na produção dos materiais. O inventário destas emissões, é relevante para caracterizar, não apenas mudança climática, mas também acidificação, dentre outros impactos, e à medida em que uma mesma emissão pode contribuir para vários impactos negativos. No quadro 21, estão listadas algumas emissões, com destaque para as de efeito estufa, relacionadas aos processos de produção de alguns materiais de construção.

Um critério para avaliar impactos relacionados a estas emissões poderia ser a preferência por materiais com menores emissões de determinados gases na produção, inclusive considerando as resultantes do uso de combustíveis. Entretanto, não se dispõe de dados para quantificar as emissões de todos os processos de manufatura de materiais de construção, no contexto brasileiro, à exceção do cimento, de forma que se torna inviável a definição de um critério vinculado a uma caracterização quantitativa. Por outro lado, visto que muitas emissões (CO₂, NO_x, SO₂) são recorrentes para diversos materiais, uma abordagem qualitativa, avaliando apenas a existência ou não de emissões, seria pouco sensível à relevância que as diferentes quantidades implicam. Desta forma, tais emissões não são incluídas na estrutura de avaliação.

Material	Emissões	Origem	Fatores de emissão
Cimento	Material particulado	Mineração, britagem e moagem, armazenamento de matéria prima, homogeneização, produção de clínquer, moagem do cimento, sinterização e resfriamento	34 % de escória AF - 0,13 kg/ton 70% de escória AF - 0,06 kg/ton 50 % de cinza volante - 0,10 kg/ton Sem adição - 0,19 kg/ton ⁽⁴⁾
	NO _x	Queima de combustíveis e reações térmicas durante a produção do clínquer	34 % de Escória AF - 1,22 kg/ton 70% de Escória AF - 0,55 kg/ton 50 % de Cinza volante - 0,925 Sem adição - 1,85 kg/ton ⁽⁴⁾
	SO _x	Dissociação do enxofre contido no combustível e na matéria-prima, dentro dos pré-aquecedores, pré-calcinadores e forno	34 % de Escória AF - 0,19 kg/ton 70% de Escória AF - 0,09 kg/ton 50 % de Cinza volante - 0,15 kg/ton Sem adição - 0,30 kg/ton ⁽⁴⁾
	CO ₂	Queima dos combustíveis fósseis para a obtenção de energia térmica. Descarbonatação dos materiais carbonáticos na clínquerização	34 % de Escória de AF - 565 kg/ton 70% de Escória de AF - 256 kg/ton 50 % de Cinza volante - 428 kg/ton Sem adição 855 kg/ton ⁽⁴⁾
Aço	NO _x	Produção do ferro gusa Processamento – laminação	76 g NO _x /ton ⁽¹⁾ 40 g NO _x /ton ⁽²⁾
	CO	Produção de ferro gusa Produção de ferro gusa Processamento do aço – laminação	1300 g CO/ton ⁽¹⁾ 112 g CO/ton ⁽¹⁾ 1 g CO/ton ⁽²⁾
	SO ₂	Produção de ferro gusa – alimentação do AF Iron Production – Pig iron tapping Steel Processing – laminação	1000-3000 g SO ₂ /ton ⁽³⁾ 30 g SO ₂ /ton ⁽¹⁾ 45 g SO ₂ /ton ⁽²⁾
	CO ₂	produção de coque, ferro gusa (redução) e aço (refino)	1.6 ton/ton ⁽³⁾
	NMVOCs	Redução – alimentação do alto forno Produção do aço – Pig iron tapping Processamento do aço – laminação	100 g NMVOC/ton ⁽¹⁾ 20 g NMVOC/ton ⁽¹⁾ 30 g NMVOC/ton ⁽²⁾
	FeO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, MgO	Pré-tratamento gusa – dessulfurização Produção do aço - Refino Lingoteamento	-
	Cerâmica (blocos e telhas)	HF fluoreto de hidrogênio	Resultantes da decomposição térmica de matérias primas, que contém flúor, proveniente de compostos dos ions fluoreto
SO ₂		Processos de combustão que utilizam combustíveis contendo enxofre	-
NO _x		Combustão	-
CO ₂		Presente em todas as emissões quentes das fases de secagem e queima. Decomposição e combustão, de carbonatos e substâncias orgânicas, respectivamente, destas substâncias ⁽⁵⁾	-
Material particulado		Extração, mistura, moagem e laminação	-

(1) CASPER (1995 apud INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996)

(2) EMEP/ CORINAIR (1996 apud INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996)

(3) ENVIRONMENT CANADÁ (1996 apud INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996)

(4) Carvalho (2002)

(5) Soares et alli (2002)

Quadro 21: principais emissões de gases, com destaque para os que causam efeito estufa, relacionadas a materiais de construção

5.2.2.3 Emissões de CO₂ decorrentes do transporte de materiais

O dióxido de carbono (CO₂) é o mais comum dos gases que causam efeito estufa, produzidos por atividades antropogênicas, sendo que a maior fonte de emissões deste gás (contabilizando 70 a 90% de todas as emissões antropogênicas) é a queima de combustíveis fósseis, onde, durante a combustão, a maior parte do carbono é emitida como CO₂ e uma parte menor é emitida em forma de CO, CH₄ ou outros hidrocarbonetos (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996).

Segundo Melo Álvares e Linke (2003), os ensaios de emissões realizados pelos fabricantes e acompanhados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), não correspondem às condições reais de uso da frota de caminhões. Segundo os mesmos autores, ainda não existem no Brasil equipamentos para realizar ensaios específicos para levantamento de fatores de emissões de veículos pesados, a diesel, sendo a alternativa, a utilização de fatores de emissões internacionais, identificados na bibliografia.

Segundo Economia e Energia (2002), uma dificuldade existente, ao se tratar a questão de emissões da frota brasileira, é a baixa confiabilidade das estatísticas oficiais de frota. Ao se estimar emissões de CO₂, decorrentes do uso de combustíveis fósseis, questões de ordem estatística e técnica afetam os resultados (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996):

- a) quantidade de carbono no combustível e conteúdo energético do combustível: há uma variação sensível de quantidade de carbono e energia, por peso, para diferentes qualidades de combustível. Expressar os fatores de emissões de carbono em função da unidade de energia despendida reduz esta variação por conta da relação mais próxima entre o conteúdo de carbono e o valor da energia do combustível. É importante, portanto, que todo suprimento e consumo de combustível seja calculado em termos de unidade de energia;
- b) quantidade de carbono não oxidado: quando energia é consumida, nem todo o carbono é oxidado na forma de CO₂, o que constitui oxidação incompleta do combustível, em função de ineficiências do processo de combustão, restando parte do carbono não queimado ou parcialmente oxidado na forma de cinzas e fuligem.

No mesmo sentido, o IPCC (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996) afirma que a estimativa de emissões de fontes móveis é uma tarefa complexa, que requer a consideração de várias questões:

- a) tipo de transporte;
- b) tipo e qualidade do combustível consumido;
- c) características da operação dos veículos;
- d) controle de emissões;
- e) procedimentos de manutenção;
- f) idade da frota.

Para o cálculo de emissões decorrentes do transporte rodoviário de cargas, tendo o diesel como combustível principal, foram identificados em IPCC (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996), os coeficientes de emissão de gases de efeito estufa para veículos pesados, apresentados no quadro 22.

	Emissões					
	NO ₂	CH ₄	NM _{VOC}	CO	N ₂ O	CO ₂
	Controle moderado: pressuposto um consumo de 3,3 km/l					
g/km total	10	0,06	1,9	9	0,03	770
g/kg de combustível	42	0,2	8,0	36	0,1	3140
g/MJ	1.0	0,006	0,2	0,9	0,003	74

Quadro 22: fatores de emissões estimados para veículos pesados de transporte de carga a diesel da Europa (*INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE*, 1996)

Os coeficientes do IPCC são adotados por constituírem uma metodologia disseminada no âmbito internacional e com interfaces de adaptação para diferentes contextos nacionais, à medida que dados específicos são disponibilizados. São determinados para veículos europeus e norte-americanos, sendo que, aqui são colocados apenas os europeus, pois, segundo Melo Álvares e Linke (2003):

Uma vez que não existem fatores de emissão levantados localmente, a estimativa das emissões de GEE da frota diesel de ônibus, microônibus e caminhões em circulação no Brasil deve ser feita preferencialmente a partir dos fatores de emissão de CO₂ para veículos pesados europeus com autonomia/consumo assumido de 3,3 km/l ou 29,9 l/100km, [...] uma vez que a tecnologia de motorização utilizada no Brasil se assemelha mais à dos veículos que circulam na Europa, do que a dos veículos americanos.

Os coeficientes apontados, uma vez aplicados para o contexto brasileiro, deverão apresentar distorções resultantes das limitações apresentadas. Muito embora não constituam uma forma precisa de prever as emissões veiculares para o transporte de produtos da construção, são

adotados como uma referência inicial, passível de ser aperfeiçoada à medida que informações mais precisas sejam disponibilizadas sobre a frota e combustível brasileiro.

Por isso, apesar das limitações, as emissões calculadas segundo tais coeficientes são propostas para caracterizar o critério de avaliação ambiental. Para o cálculo de tais emissões, os coeficientes serão aplicados sobre os valores energéticos encontrados a partir do método de Sperb (2000). O resultado desta caracterização está diretamente atrelado ao critério de caracterização do consumo de energia e emissões para transporte. Isto por estar em função do valor do aporte energético para transporte (quadro 17). A preferência é por subsistemas com menores emissões de CO₂.

5.2.2.4 Geração de resíduos

A grande complexidade e diversidade de processos industriais e de materiais resultantes, para aplicação em edificações, acarretam a existência de uma grande variedade de resíduos emitidos para o meio ambiente. Classificam-se, aqui, os resíduos em dois grupos (figura 19): os de processos industriais e os resíduos da construção e demolição (RCD). Esta classificação é realizada para ressaltar a importância dos primeiros, quando a análise engloba todo o ciclo de vida de um subsistema de cobertura.

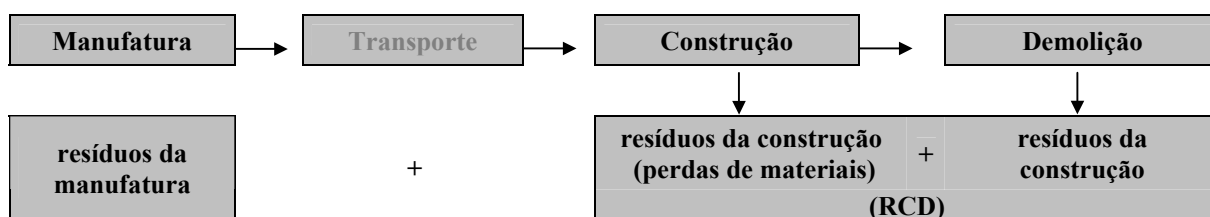


Figura 19: diferentes etapas geradoras de resíduos no ciclo de vida de edificações

Com relação às etapas de construção e disposição final, existem impactos relevantes, que devem ser considerados devido ao grande volume de resíduos sólidos gerados, potencializando impacto de grande magnitude. Pinto (1999) aponta que os resíduos de construção e demolição variam entre 54% a 70% do total de resíduos produzidos diariamente, em seis municípios brasileiros pesquisados, o que indica uma grande participação na geração de resíduos sólidos urbanos. Não obstante, a magnitude dos resíduos gerados no ciclo de vida

de materiais de construção tende a ser ainda maior quando incluídos os resíduos da extração, processamento e manufatura de materiais e componentes.

5.2.2.4.1 Resíduos sólidos industriais

A obtenção de dados precisos, referentes à geração de resíduos pelos processos da extração de recursos, refinamento e na manufatura de materiais nem sempre é possível, principalmente, porque as empresas tendem a considerá-los confidenciais (*EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY*, 1997a; TODD; CURRAN, 1999). No contexto brasileiro, há limitações para a obtenção de tais dados, não existindo fontes sistemáticas de coleta. Uma possibilidade, apontada por Grigoletti e Sattler (2003), é a utilização de Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA)⁷, para o levantamento de fluxos de entrada e saída referentes à manufatura de materiais de construção. Entretanto, os autores afirmam que tais relatórios não são elaborados para todas as atividades de produção de materiais de construção.

A identificação de resíduos gerados pode ser realizada, então, a partir da análise detalhada de processos de extração e produção de materiais, possibilitando uma classificação quantitativa dos volumes gerados e, também, da qualidade dos resíduos, com relação ao grau de periculosidade dos mesmos. Se o estudo detalhado de processos específicos não é possível, pode-se recorrer a referências bibliográficas, derivando uma análise menos específica e apenas qualitativa da composição dos resíduos, mas ainda assim, permitindo destacar as emissões críticas. Emissões críticas podem ser entendidas como as de grande magnitude (volume gerado) ou com grande toxicidade ao homem ou ecossistemas.

O quadro 23 apresenta os principais resíduos, identificados na bibliografia, para a produção de alguns materiais de construção, empregados em subsistemas de cobertura. Estes materiais são classificados segundo a periculosidade dos mesmos, em função da classificação da ABNT (2004), e são apresentadas as possibilidades de reciclagem dos mesmos.

⁷ RIMA: Relatório de Impacto Ambiental é o documento final que reúne os dados do EIA, apresentado à Agência de Meio Ambiente do estado no qual se localiza a empresa. Estudo de Impacto Ambiental, é um

Material	Processo	Resíduos líquidos e sólidos	Perigoso (sim/não)	Reciclagem Potencial
Cimento ⁽¹⁾	-	-	-	-
Aço	Coqueria, alto-forno, Sinterização	Efluentes líquidos diversos	sim (8)	Tratamento e reuso interno (mais de 90% de recirculação)
Aço ^(2,3,4)	Aciaria	Escória de aciaria (79,96%)	não ⁽²⁾	Agregados, pavimentação
Aço ^(2,3,4)	Redução em alto-forno	Escoria de alto forno	não ⁽²⁾	Uso como clínquer siderúrgico para produção de cimento
Madeira ⁽⁵⁾	Desdobro	Resíduo sujo	não ⁽⁶⁾	Geração de energia
Madeira ⁽⁵⁾	Corte de madeira, Beneficiamento	Serragem	não ⁽⁶⁾	Produção de chapas particuladas; Produção de Celulose
Cerâmica ⁽⁷⁾	Moldagem	Cerâmica homogeneizada	não	Ciclo fechado
Cerâmica ⁽⁷⁾	Secagem	Cerâmica crua extrudada	não	Ciclo fechado
Cerâmica ⁽⁷⁾	Queima	Cerâmica queimada	não	Ciclo fechado
Amianto	extração, manufatura de componentes	Fibras em suspensão	sim	-

(1) no processo de fabricação de cimento, as principais emissões são de gases e particulados, conforme Carvalho (2002) e Young et alli (2002). Não se encontram referências para geração significativa de resíduos sólidos;

(2) Geyer et alli (1997)

(3) Companhia Siderúrgica Nacional (2003) – Balanço Ambiental 2003

(4) Filev (2004)

(5) Fagundes (2003)

(6) Rech (2002 apud FAGUNDES, 2003), afirma que é necessário considerar problemas decorrentes da deposição *in-natura* dos resíduos da produção de madeira serrada, devido ao tempo necessário para a degradação natural e ao vol

(8) na fabricação do aço, embora os efluentes líquidos das etapas mencionadas sejam perigosos, observa-se que a possibilidade de tratamento e reciclagem e as práticas correntes minimizam os potenciais impactos.

Quadro 23: resíduos sólidos da produção de alguns materiais de construção

É proposto, portanto, um critério de restrição a materiais cujos processos de fabricação acarretam geração de resíduos tóxicos, conforme o quadro 24.

Critério	Preterir subsistemas que gerem resíduos tóxicas
Categoria	Geração de emissões e resíduos
Impacto relacionado	Toxicidade ao ecossistema Toxicidade ao homem
Cadeia de causa e efeito	Disposição final em aterros → toxicidade ao ecossistema Emissões aéreas tóxicas → danos a saúde humana
Dados necessários	Identificação da composição de cada material ou componente; classificação dos materiais, segundo a classificação da NBR 10004
Caracterização	simples verificação da presença de substâncias classificadas como classe 1

Quadro 24: definição do critério sobre a presença de resíduos perigosos

conjunto de análises que estuda todos os possíveis impactos ambientais decorrentes da instalação (ou ampliação) de uma atividade sobre seu entorno.

Daniel Pinho de Oliveira (danielpinhodeoliveira@hotmail.com) – Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 2005

5.2.2.4.2 Resíduos da construção e demolição

Os resíduos da construção e demolição (RCD) são geralmente considerados conjuntamente, mas, algumas distinções são necessárias, de forma a facilitar a caracterização dos mesmos. Os resíduos de construção são decorrentes das perdas de materiais em canteiro. Por perdas de construção, deve-se entender, não apenas os desperdícios de materiais, mas, também, as ineficiências que acarretem o uso de quantidades desnecessárias de materiais, equipamentos, energia, mão-de-obra e capital (FORMOSO et alli, 1997). No Brasil, a geração de resíduos da construção é agravada pelos altos índices de perdas nos processos de construção, mas dentre os tipos possíveis de perda na construção, estão disponíveis apenas algumas referências sobre perdas de materiais, conforme apresentado na tabela 3, de forma que é o único tipo que pode ser considerado. Dentre os dados disponíveis sobre perdas de materiais, os de Soibelman (1993), resultantes da pesquisa em cinco obras em Porto Alegre, são adotados na estrutura proposta, pelo fato de se referirem ao contexto de aplicação deste trabalho. Considera-se, ainda, que tais dados, possuem uma grande probabilidade de não refletirem a situação geral de Porto Alegre, correspondendo mais a casos específicos. Ainda assim, são adotados na ausência de se ter verificado dados mais recentes e confiáveis. Como forma de introduzir aspectos de perdas dos materiais na estrutura de avaliação, propõe-se a inclusão de percentuais de perdas na caracterização dos subsistemas avaliados, de forma que a quantidade de materiais utilizados será acrescida pelo valor proporcional a perda de cada material. Assim, não é determinado, portanto, qualquer critério para tratar com perdas de materiais, mas apenas uma consideração indireta das mesmas através de percentuais.

Materiais	Pinto (1999)	Soibelman (1993)	Souza et alli (1998)
Concreto usinado	1,5%	13%	9%
Aço	26%	19%	11%
Blocos e tijolos	13%	52%	13%
Cimento	33%	83%	56%
Cal	102%	-	36%
Areia	39%	44%	44%

Tabela 3: perda de materiais em processos construtivos convencionais
(SOUZA et alli, 1998 apud PINTO, 1999; SOIBELMAN, 1993;
PINTO, 1989 apud PINTO 1999)

A geração de resíduos na construção pode ser controlada através da otimização dos processos, evitando perdas e gerenciando os resíduos para uma destinação adequada, derivando critérios

sobre a gestão, redução de perdas e geração de resíduos. Segundo Formoso et alli (1997), melhorias na geração de perdas de materiais podem ser obtidas através de cuidados elementares no recebimento, na estocagem, no manuseio, na utilização e na proteção dos materiais. Entretanto, os aspectos de gestão não estão incorporados no escopo deste trabalho, conforme apontado nas delimitações iniciais.

Pode-se considerar, também, que materiais e componentes incorporados em um subsistema podem possuir características intrínsecas, que otimizem ou prejudiquem a geração e disposição de resíduos. Por exemplo, subsistemas de cobertura produzidos segundo princípios de racionalização e industrialização, podem reduzir as perdas em canteiro. Tal tipo de análise deverá abranger, conseqüentemente, etapas anteriores de manufatura do subsistema, como forma de verificar a geração de resíduos antes da etapa de construção. Como os dados quantitativos, relativos à geração e disposição final de resíduos na manufatura de materiais específicos não estão disponíveis, descarta-se, em um primeiro momento, a avaliação de subsistemas segundo aspectos de industrialização.

Os resíduos de demolição de uma edificação podem ter características diferentes em função do processo de demolição adotado. Por exemplo, um processo cuidadoso de desconstrução e separação, pode gerar um grande percentual de materiais de alto valor agregado e passíveis de serem reutilizados ou reciclados, enquanto a demolição com equipamentos pesados tende a gerar um volume heterogêneo de resíduos, dificilmente passível de reaproveitamento. Pode-se caracterizar quantitativamente os resíduos de demolição, contabilizando os materiais empregados na construção, mas dificilmente serão quantificadas perdas de materiais incorporados, de forma que estes tendem a ser desconsiderados.

Assim, os RCD de uma edificação ou subsistema podem ser caracterizados quantitativa e qualitativamente. Quantitativamente, tomando-se a massa de recursos empregados e adicionando as perdas na construção. Qualitativamente, a partir das características dos resíduos quanto a suas possibilidades de uso ou periculosidade. A partir de uma caracterização qualitativa da composição dos RCD, é possível aplicar o critério, já definido anteriormente (quadro 24), relativo à presença de substâncias nocivas, preterindo subsistemas que contenham ou emitam resíduos de classe 1, segundo a classificação da NBR 10.004 – Resíduos sólidos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), em qualquer etapa do ciclo de vida considerado. A possibilidade de gerar um critério quantitativo para os resíduos sólidos gerados ao longo do ciclo de vida de uma edificação esbarra na falta

de dados sobre os volumes gerados nas etapas anteriores à execução da obra, na manufatura e extração de materiais. Tendo em vista esta limitação, opta-se por considerar as possibilidades de disposição final, a partir da caracterização do potencial de mitigação de impactos na disposição final de resíduos através do reaproveitamento, conforme apresentado nas seções seguintes. Salienta-se, entretanto, que esta alternativa não substitui a primeira, sendo importante agregar, futuramente, uma abordagem quantitativa, para tratar da redução de consumo de material.

5.2.2.4.3 Disposição final de materiais de construção e demolição

No contexto brasileiro, apenas recentemente, a destinação final dos resíduos da Construção Civil recebeu legislação específica, norteador as iniciativas para a redução de impactos ambientais. A resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil e classifica os resíduos da construção em quatro classes (BRASIL, 2002):

- a) classe A: resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como resíduos de argamassa e concreto de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos. Este tipo de resíduo poderá ser reutilizado, reciclado na forma de agregados ou encaminhado a áreas de aterro de resíduos da Construção Civil, sendo disposto de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- b) classe B: resíduos recicláveis para outras destinações, como, por exemplo, plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros. Este tipo de resíduo deverá ser reutilizado, reciclado ou encaminhado a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- c) classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.
- d) classe D: resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como por exemplo: tintas, solventes, óleos ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos em locais com usos especiais como clínicas radiológicas ou instalações industriais.

A resolução 307 institui ainda a obrigatoriedade da elaboração de (BRASIL, 2002):

- a) Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: para estabelecer diretrizes técnicas e procedimentos para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores;
- b) Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil: para empreendimentos e atividades não enquadrados, na legislação, como objeto de licenciamento ambiental.

Desta forma, é possível prever uma mudança significativa da postura dos agentes da construção em relação aos resíduos gerados, em função da correta implementação da legislação.

Adicionalmente, deve-se considerar a disposição final dos resíduos gerados na produção de materiais e componentes do subsistema. Tal caracterização é realizada baseada nas possibilidades técnicas atuais de reaproveitamento dos resíduos, apresentadas no quadro 23. Dentre as possibilidades de disposição final, os processos de reciclagem e reutilização são considerados, portanto, os processos que possibilitam a otimização de impactos ambientais, através da conservação de recursos naturais e por facilitar o gerenciamento de resíduos e, por isso, são abordados na seção seguinte.

5.2.2.4.4 Reutilização e reciclagem de materiais e componentes

O reaproveitamento de materiais, seja por reutilização ou reciclagem, pode causar impacto ambiental positivo e potencialmente de grande magnitude, proporcionais ao volume de resíduos reincorporados aos processos de construção ou industriais. Daí a relevância da inclusão de tais processos em uma avaliação ambiental.

Para viabilizar o reaproveitamento, deve ocorrer, no processo de construção, ênfase na separação dos resíduos, enquanto, na demolição, o processo de desconstrução pode ser apontado como um processo que otimiza a sua disposição final. O termo desconstrução é aplicado para definir, segundo Macozoma (2001), o processo de seletiva e sistematicamente desmontar edificações para reduzir a quantidade de resíduos e gerar um suprimento de materiais de segunda-mão de alto valor que são adequados para reutilização e reciclagem.

Deve-se ressaltar que a separação dos materiais e componentes não implica, automaticamente, na reutilização ou reciclagem dos mesmos, o que dependerá das tecnologias disponíveis e do

interesse do mercado por tal material. Segundo Macozoma (2001), o valor dos materiais resultantes da desconstrução deve exceder os custos de processamento e transporte, fornecendo vantagens para o reaproveitamento, sendo que, parte do valor depende da produção de materiais com alto valor agregado, enquanto, outra parte, depende das oportunidades de mercados encontradas para tais materiais. O quadro 25 apresenta estimativas do valor de alguns materiais gerados a partir de atividades de demolição em Porto Alegre. Ressalta-se que a determinação do valor dos materiais para reaproveitamento é extremamente sensível ao contexto técnico e conjuntura de mercado. O valor de um determinado material poderá oscilar, por exemplo, conforme a escassez ou abundância de um recurso ao longo do tempo, ou devido à introdução de barreiras legais e aumento do ônus de disposição final em aterros, de forma que o material pode receber destino alternativo, sendo, então, reaproveitado.

Valor	Componentes e materiais	Descrição
Valor negativo	Resíduos de concreto e argamassa Fios de cobre capeados Tubos PVC Blocos cerâmicos	Materiais sem valor de mercado, ou cujo valor é inferior aos custos de processamento para reaproveitamento, implicando no aporte de recursos para uma disposição final adequada
Valor baixo	Telhas cerâmicas, Aço, Placas cerâmicas, Elementos metálicos, Telhas de fibrocimento, Estruturas de madeira, Pisos de madeira	Materiais cujo valor é apenas uma pequena fração do valor do material novo, ou cujo valor supere o ônus da disposição final em aterro. Tais materiais podem ser reutilizados ou reciclados
Valor alto	Esquadrias de madeira escassas Tijolos maciços Esquadrias internas	Materiais cujo valor é uma fração significativa dos materiais novos. O valor pode ter crescido em função da escassez, ou por conta da valorização em função de reprocessamento. Tais materiais tendem a ser reutilizados.

Quadro 25: classificação de valores dos produtos recuperados
(adaptado de MACOZOMA, 2001)

A relevância do reaproveitamento está na economia de energia e recursos que, de outra forma, seriam empregados para a produção de novos materiais e componentes. A reutilização sistemática de materiais, pode, portanto, representar uma quantidade de recursos naturais salvos e a otimização dos impactos ambientais, já que pouco ou nenhum beneficiamento é esperado para os materiais reutilizados. A reciclagem, por sua, vez, pode implicar em processos com maior potencial de impactos negativos. Segundo John (2000) a reciclagem de produtos pode apresentar, na perspectiva da sustentabilidade, potenciais vantagens ambientais ao mesmo tempo em que apresenta riscos. Ainda segundo o autor, um processo de reciclagem deve ser detalhadamente avaliado por ferramentas apropriadas, tal como a ACV, para que se certifique das vantagens oferecidas pelo mesmo. As vantagens potenciais proporcionadas pela reciclagem (aqui estendidas para a reutilização) são, segundo John (2000):

- a) preservação de recursos naturais substituídos por resíduos, aumentando a vida útil de reservas naturais e reduzindo a destruição da biodiversidade;
- b) redução do volume de aterros;
- c) redução do consumo energético.

Existem, entretanto, barreiras para a reciclagem de resíduos, que são de ordem legal / regulamentar, cultural, tecnológica, econômica e geográfica e de mercado (JOHN, 2000). Além disso, segundo John e Ângulo (2003, p. 10):

[...] um processo de pesquisa e desenvolvimento de técnicas para reciclagem de resíduos que resultem viáveis em determinado mercado é uma tarefa complexa, a qual envolve conhecimentos de ciências de materiais, ambientais, de saúde, econômicas, marketing, legais e sociais, além da avaliação de desempenho do produto em um cenário de trabalho multidisciplinar.

Possivelmente, podem ser identificadas implicações negativas para um processo de reciclagem que devem ser consideradas. Por exemplo, do ponto de vista energético, alguns processos podem reduzir o consumo para a fabricação de um produto, enquanto outros podem acarretar impactos energéticos maiores até que os decorrentes da fabricação de um produto novo, sem conteúdo reciclado. No mesmo sentido, Klang et alli (2003) afirmam que a reciclagem de produtos não implica necessariamente em benefícios ambientais, pois muitas vezes, processos de reciclagem podem causar impactos ambientais graves. Por isso, os autores apontam a necessidade de estabelecer uma perspectiva do ciclo de vida quando se avaliam medidas de gerenciamento de resíduos. Assim, considerando os aspectos citados anteriormente sobre os impactos negativos e limitações de reciclagem de alguns materiais, apresenta-se, no quadro 26, a classificação de materiais de construção, segundo o potencial de reaproveitamento.

Por fim, como resposta à meta específica de estimular o reaproveitamento de materiais residuais, sejam industriais ou de construção e demolição, adota-se como critério, a preferência por subsistemas com menor massa por metro quadrado de materiais com potencial de reaproveitamento baixo ou nulo, conforme o quadro 27.

Material	Possibilidades				Potencial de reaproveitamento
	Reuso	Reciclagem	Aterro de inertes	Aterro de tóxicos	
Aço (perfis separados)	S	S	S	-	alto
Aço (estrutura de concreto)	-	S	S	-	alto
Alumínio (elementos)	S	S	S	-	alto
Concreto (estrutura)	-	S	S	-	baixo
Fibrocimento com amianto (telhas)	S	-	-	S	nulo
Fibrocimento sem amianto (telhas)	S	-	S	-	alto
Gesso (forro)	-	S	-	S	nulo
Madeira com tratamento alternativo	S	S	S	-	alto
Madeira não tratada	S	S	S	-	alto
Madeira tratada com CCA	-	-	-	S	nulo
Telhas cerâmicas	S	S	S	-	alto

Potencial:

alto: possibilidade técnica de reuso ou reciclagem

baixo: possibilidade técnica única de aterro de inertes

nulo: possibilidade técnica de aterro de tóxicos

Quadro 26: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção

Critério	Preferir subsistemas com menor quantidade de materiais com potencial de reaproveitamento baixo ou nulo
Categoria	Geração de emissões e resíduos
Impacto relacionado	redução do consumo de novos recursos redução de cargas ambientais
Cadeia de causa e efeito	Reaproveitamento de materiais → introdução em processos produtivos → redução de demanda de novos insumos → preservação de reservas de recursos. Reaproveitamento de materiais → redução de resíduos em aterros → redução da pressão sobre o meio ambiente
Dados necessários	Identificação da composição dos materiais componentes;
Caracterização	Identificação dos resíduos → Identificação do potencial de reaproveitamento dos resíduos identificados segundo o quadro 26 → caracterização do conjunto de materiais segundo o potencial de reaproveitamento

Quadro 27: definição do critério sobre o potencial de reaproveitamento

Para a caracterização deste critério deve-se realizar, inicialmente, a identificação de pelo menos 90% da massa de materiais empregados nos subsistemas, e dos quantitativos, em massa e percentual da massa total do subsistema de cada material. A abordagem do reaproveitamento de materiais ocorre de forma qualitativa em relação às etapas de manufatura, construção e demolição. Entretanto, este critério de potencial de reaproveitamento, como única referência a questões relativas disposição dos resíduos, não permite uma avaliação abrangente, devendo ser compreendida como uma variável localizada no início de um mecanismo ambiental, que apenas caracteriza, de forma qualitativa, o

potencial de redução de impactos ambientais negativos. Ao longo deste mecanismo, existem questões que não são esclarecidas pela simples aplicação deste critério. Por exemplo, a quantidade de energia que será gasta para a reciclagem, a qualidade do produto e sua viabilidade de introdução no mercado e as emissões resultantes do processo. Critérios em posições mais próximas ao fim de um mecanismo ambiental, e voltados para o desempenho ambiental, devem ser sempre buscados, aumentando a sofisticação e precisão da caracterização e avaliação de impactos, o que deve ocorrer à medida que avanços científicos permitam esclarecer as questões apontadas.

5.2.3 Qualidade do ambiente interno

Aspectos da qualidade do ambiente interno dizem respeito às emissões nocivas a saúde humana nas etapas de manufatura e uso e as emissões de calor para o ambiente interno da edificação em uso. São considerados como relevantes, as emissões de substâncias nocivas, em quaisquer das etapas mencionadas anteriormente, e a condição de conforto térmico na etapa de uso, decorrente de características dos materiais e soluções de projeto para subsistemas de cobertura. Ambos os aspectos devem ser considerados pelo potencial de prejuízo a saúde e ao conforto humano devido à exposição prolongada e sistemática na produção de materiais ou no uso de edificações. Devem ser tomados como metas relacionadas a tais impactos:

- a) restrição a materiais que emitam para o ambiente interno de edificações, em uso ou na etapa de produção, substâncias nocivas, tais como, VOC⁸, formaldeído⁹ e amianto (SPERB, 2000);
- b) elevar o desempenho térmico de subsistemas de cobertura, admitindo como requisito mínimo os índices definidos da Associação Brasileira de Normas Técnica (2002b), para a cidade de Porto Alegre.

A seguir são apresentados os critérios definidos a partir das metas específicas para questões referentes ao conforto interno e a qualidade do ar interno.

⁸ VOC: Compostos Orgânicos Voláteis são produtos químicos que se evaporam facilmente, solúveis em gordura e tóxicos para a saúde do ser humano

⁹ O formaldeído é um composto volátil estudado separadamente porque os métodos cromatográficos de caracterização de gases, normalmente adotados para análise de VOC, não o detectam.

5.2.3.1 Conforto térmico do ambiente interno

Embora o impacto do desempenho térmico do subsistema de cobertura não se reflita de forma significativa em termos de consumo energético em habitações de interesse social, conforme colocado anteriormente, existem questões de conforto do ambiente interno que não devem ser negligenciadas. Estas possuem reflexo no conforto e saúde dos ocupantes de edificações, sensíveis a extremos de temperatura e sujeitos a perpetuação de condições de desconforto por longos períodos, correspondentes à ocupação da edificação. Considerando-se que muitas edificações de interesse social não atendem de maneira satisfatória ao desempenho térmico necessário para proporcionar conforto aos seus habitantes e considerando não ser economicamente viável sua climatização artificial por meio de equipamentos de ar-condicionado, deve-se buscar a otimização de impactos sobre o conforto e a saúde dos ocupantes por meio de critérios para alcançar as metas apontadas.

Na etapa de uso, os requisitos funcionais de desempenho térmico influenciam o impacto do subsistema na qualidade do ambiente interno. Historicamente, os subsistemas de cobertura são desenvolvidos em função das condições climáticas locais, definindo diversas tipologias em função do período histórico e da situação geográfica (STULZ, 2000). Frente a esta importância, diversos autores têm estudado as variáveis que influenciam o desempenho térmico do subsistema (LAMBERTS, 1983; 1988; SATO, 1988; STULZ, 2000; CASTANHEIRA; COSTA, 2002; FERREIRA, PRADO, 2003;). Segundo Sato (1988), a resposta de uma cobertura quando submetida a um fluxo de calor depende:

- a) das propriedades físicas: fatores geométricos dos subsistemas e propriedades específicas dos materiais da cobertura;
- b) dos agentes atuantes: fatores climáticos e de ocupação.

As propriedades físicas dos materiais e superfícies que também influenciam o desempenho são (LAMBERTS, 1983; SATO, 1988; STULZ, 2000):

- a) atraso térmico e capacidade térmica;
- b) isolamento térmico;
- c) refletância/absorbância e emitância da superfície de recobrimento do telhado.

Estas propriedades podem ser exploradas de maneiras diferentes em função da estratégia climática mais adequada para o tipo de clima onde uma edificação está inserida. O Projeto de Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002b), estabelece recomendações para otimizar o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática. Muito embora ainda seja um texto em discussão, tal projeto é identificado como a melhor referência para avaliar, no contexto brasileiro, o desempenho térmico de coberturas e, por isso, é adotado neste trabalho. Das suas exigências e recomendações podem ser extraídos critérios de avaliação de desempenho térmico para coberturas.

A cidade de Porto Alegre se enquadra na zona 3, dentre as 8 zonas climáticas estabelecidas pela parte 3 deste Projeto de Norma. A estratégia recomendada para coberturas é a de adoção de cobertura leve isolada. O quadro 28 apresenta as propriedades térmicas que constituem uma cobertura leve isolada, que podem ser caracterizadas segundo os procedimentos e tabelas do Projeto de Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002a).

Vedações externas		Transmitância Térmica – U^{10} W/m ² .K	Atraso Térmico - ϕ Horas	Fator de Calor Solar - FCS %
Coberturas	Leve Isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	FCS $\leq 6,5$
	Leve Refletora	$U \leq 2,30$	$\phi \leq 3,3$	FCS $\leq 6,5$
	Pesada	$U \leq 2,00$	$\phi \geq 6,5$	FCS $\leq 6,5$

Quadro 28: transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de cobertura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002b)

Dado um subsistema para avaliação, é possível, então, a partir da descrição de sua composição em termos de materiais e forma de aplicação, caracterizá-lo segundo as propriedades do quadro 28, e os procedimentos da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002a). Com o objetivo de reduzir o número total de critérios na estrutura, apenas os valores de transmitância térmica e de fator de calor solar são utilizados.

Adota-se, no entanto, para o cálculo do fator de ganho solar, os valores de absorvância deduzidos a partir dos valores de albedo encontrados por Ferreira e Prado (2003). A variação do albedo é colocada em função da cor de acabamento da superfície, onde, superfícies mais

¹⁰ condição válida pra o fluxo descendente de ar (verão)

claras possuem alto albedo, refletindo um maior percentual de radiação incidente que superfícies escuras. O quadro 29 apresenta os índices de albedo solar para diferentes comprimentos de onda incidentes em materiais de cobertura.

Material	Comprimento de onda			
	UV	Visível	IV	Total
	290-380nm	380-780nm	782-2500nm	290-2500nm
Cerâmica vermelha	9,1	33,1	78,9	67,7
Cerâmica branca	11,5	53,1	74,5	68
Fibrocimento	25	36,08	40,87	39,35
Alumínio sem pintura	73,4	72,53	73,74	73,19
Aço inoxidável sem pintura	78,49	69,67	73,03	72,64
Aço inoxidável branco	7,95	78,46	59,53	60,82
Aço inoxidável cinza	7,78	46,65	37,43	37,88

Quadro 29: valores de albedo de materiais empregados em telhados (FERREIRA; PRADO, 2003)

A partir do dado de albedo das superfícies apresentados por Ferreira e Prado (2003), é possível calcular a absorvância das mesmas, visto que, se o albedo diz respeito ao percentual de energia refletida de um total que incide sobre uma superfície (100%). A diferença entre o total de energia solar incidente em um telhado (100%) e o percentual refletido será referente à energia absorvida, e representará a absorvância da superfície.

Considerando os impactos das cargas térmicas emitidas pelas superfícies de coberturas para o interior da edificação, assim como o potencial de redução de impactos através de adoção de redução dos fatores de ganho solar e de transmitância, adotam-se estas duas propriedades como critérios de avaliação (quadro 30).

Critério	Preferir subsistema com menor coeficiente global de transmitância (U) ¹ e com menor fator de calor solar.
Categoria	Qualidade do ambiente interno
Impacto relacionado	Conforto térmico no ambiente interno
Cadeia de causa e efeito	Incidência de radiação solar na cobertura → absorção de calor pela superfície → elevação da temperatura superficial → transferência de calor por radiação e convecção pelo ático → aumento da temperatura superficial interna → transmissão para o meio interno por convecção, radiação e condução
Dados necessários	Caracterização das propriedades dos materiais (calor específico, condutância, densidade); valor da resistência térmica total; valor da absorvância.
Caracterização	Procedimentos da Associação Brasileira de Normas Técnica (2002a)

(1) respeitados os limites máximos da Associação Brasileira de Normas Técnica (2002a)

Quadro 30: definição dos critérios de conforto térmico

5.2.3.2 Qualidade do ar interno

Emissões de substâncias danosas à saúde humana podem ser geradas em várias etapas do ciclo de vida de um subsistema de cobertura. Neste trabalho são enfocadas as emissões geradas nos processos de manufatura de produtos e no uso de edificações, que são separadas da categoria de geração de emissões e resíduos, por ocorrerem, especificamente, em ambientes internos. Estas, constituem uma questão ambiental particularmente relevante para produtos da construção, que não está presente em avaliações de outros tipos de produtos. São relevantes pelo dano a saúde, tanto para os casos de exposição curta, quanto pela exposição contínua com efeitos cumulativos e potencialmente graves.

A qualidade do ambiente (ar) interno é resultante da interação entre o local, o clima, os sistemas da edificação, as técnicas construtivas e os ocupantes. Os seguintes elementos são apontados como fontes de contaminação do ar interno (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 1991):

- a) fontes externas: ar externo contaminado, emissões de fontes adjacentes à edificação, umidade e vapor em suspensão, promovendo crescimento de microorganismos;
- b) equipamentos: sistemas de ar-condicionado, equipamentos;
- c) atividades humanas: pessoais, atividades de limpeza;
- d) atividades de manutenção: microorganismos oriundos da manutenção precária de torres de resfriamento, poeira transportada pelo ar, VOC decorrentes do uso de pintura, adesivos e outros produtos, pesticidas decorrentes da dedetização, emissões de suprimentos estocados;
- e) locais que coletam ou acumulam poeira: superfícies com texturas, tais como carpete e cortinas, prateleiras abertas, matérias contendo amianto;
- f) condições sanitárias inadequadas e danos causados pela água: crescimento de microorganismos em mobiliário danificado por água ou terra, crescimento de microorganismos em área de condensação, água parada decorrente de entupimentos ou drenagens mal projetadas;
- g) emissões químicas de elementos internos: VOC e compostos inorgânicos;
- h) atividades de redecação e reparos: emissões de novo mobiliário ou emissões microbiológicas decorrentes de demolições ou reformas;
- i) outras fontes: eventos acidentais tais como vazamentos de água e outros líquidos, crescimento microbiológico devido a inundações ou infiltrações de telhados.

Alguns destes elementos não são pertinentes para uma habitação de interesse social, como o relacionado ao uso de equipamentos de ar-condicionado, enquanto outros estão fora das fronteiras da estrutura de avaliação. Assim, a partir da lista, é apontada como relevante, apenas as emissões nocivas no interior da construção provenientes dos materiais do subsistema, resultantes de produtos e tratamentos utilizados no revestimento e acabamento dos materiais internos.

Materiais de construção aplicados internamente podem constituir fontes significativas de emissões poluentes e por isso podem afetar a qualidade do ar interno (*US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY*, 1994 apud NIU; BURNETT, 2001; HUANG; HAGHIGHAT, 2003). Alguns materiais e suas emissões poluentes são apresentados no quadro 31. Entretanto, possíveis riscos à saúde dependem da natureza e concentração dos poluentes envolvidos (JONES, 1999).

Materiais e componentes	Poluentes	Efeitos para a saúde
Amianto	Fibras de amianto	Doenças do pulmão: asbestose, câncer
Adesivos, selantes, revestimentos arquitetônicos, pinturas	Vários VOC	Dependente da espécie, provavelmente relacionado à síndrome do edifício doente
Aglomerados e compensados	Formaldeído	Irritação de membranas
Carpete, pisos elásticos, acabamentos de paredes	Vários VOC	Causa síndrome do edifício doente
Isolamentos, placas de forro acústico, mobiliário	VOC e particulados	Dependente da espécie, provavelmente relacionado à síndrome do edifício doente

Quadro 31: materiais de aplicação interna e suas emissões poluentes (NIU; BURNETT, 2001)

Segundo Lippiatt (2002) não há consenso científico sobre fatores para caracterização da contribuição relativa para as emissões internas para os muitos produtos passíveis de serem empregados em uma edificação, de forma a derivar um único indicador. Ainda segundo a autora, na ausência de dados confiáveis, as emissões de VOC são normalmente utilizadas para medir o desempenho da qualidade do ar interno. Niu e Burnett (2001) propõem três métodos de controle de emissões poluentes causadas por materiais de construção, que poderiam ser tomados como metas específicas:

- a) restrição dos componentes, através da seleção de materiais que não contenham ou que contenham emissões nocivas em baixas quantidades;
- b) aplicação de revestimentos que evitem a passagem das substâncias para o ar, embora não se possa, ainda, garantir a eficácia deste tipo de solução;

c) uso de aquecimento do ambiente e ventilação antes da ocupação¹¹.

Dos três métodos apresentados, apenas o primeiro será considerado neste trabalho, por ser o único que é potencialmente viável de ser aplicado para edificações de interesse social. Para uma caracterização qualitativa de matérias, são definidas como substâncias a serem evitadas em materiais e componentes de subsistemas de cobertura o amianto, o formaldeído e os VOC.

A presença de amianto durante o processo de fabricação de materiais pode acarretar danos a saúde humana (DUŠINSKÁ et alli, 2004; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO, 2004; JONES, 1999). Nas telhas de fibrocimento, as fibras que são aglutinadas pelo cimento podem ser, acidentalmente, lançadas no ar, quando da manipulação ou na quebra das peças. Sua aplicação deve ser caracterizada como uma questão crítica e acarretar a exclusão de materiais, sendo, portanto, adotada como um critério prescritivo de avaliação ambiental (quadro 24). Portanto, entende-se que a presença de amianto deva ser considerada como um critério suficiente para preterir e eliminar uma alternativa de cobertura devido aos seus efeitos nocivos, também na etapa de uso.

Apesar da relevância das emissões mencionadas, entende-se desnecessário incluir critério referente às mesmas. Isto ocorre devido as seguintes razões:

- a) as residências de interesse social são utilizadas sem climatização artificial, e portanto usufruem de ventilação natural, fator que combinado à temperatura do ar, elevada pelo menos no verão, reduzem os possíveis impactos relativos a emissões tóxicas;
- b) a maior parte dos materiais do telhado, a exceção da superfície interna do forro não estão em contato com o interior da edificação, de forma que não podem contribuir para tal tipo de impacto;
- c) ainda que se pretendesse considerar tais emissões, não se dispõe de dados nem de modelos suficientemente simples para caracterizá-las de forma adequada. Isto decorre do fato que o interesse sobre as relações entre qualidade do ar interno e a saúde humana ser recente, de forma que se sabe muito menos sobre os riscos decorrentes de poluentes internos do que sobre os associados aos externos (JONES, 1999).

¹¹ Aquecimento e ventilação do ambiente antes da sua ocupação (do inglês *preoccupancy bake-out ventilation*): segundo a *Cornell University Ergonomics Web* (2004), em um estudo recente, do efeito de um aquecimento combinado com ventilação do ambiente interno de uma edificação, indica que uma elevação de 13°C na temperatura, acarreta uma elevação de 200% nas emissões de VOC e portanto, estima-se que tal procedimento possa eliminar grande parte das mesmas, que de outra forma, ocorreriam ao longo do período de uso. No caso de habitações de interesse social no Brasil, estima-se que a ventilação e as temperaturas mais elevadas sejam fatores favoráveis a redução os efeitos dos VOCs.

5.3 Critérios mínimos

Dentre os critérios determinados anteriormente, entende-se que são passíveis de serem estabelecidos como critérios mínimos exigíveis, os relativos ao conforto do ambiente interno e à presença de amianto, considerando os riscos deste nas diversas etapas do ciclo de vida do subsistema. Subsistemas que não atendam a estes critérios não serão passíveis de seleção, sendo automaticamente preteridos.

Com relação ao desempenho térmico, devem ser atendidos os valores máximos para a transmitância térmica e para o fator de calor solar, estabelecidos pelo Projeto de Norma de Desempenho Térmico de Edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002b) e apresentados no quadro 28. Com relação ao veto do uso do amianto, este é previsto no critério relacionado a presença de resíduos tóxicos perigosos, conforme o quadro 24.

Os demais critérios avaliados não permitem a determinação de parâmetros mínimos de desempenho, visto que não existem valores de referência, mas podem vir a ser definidos com o avanço científico. Isto permitirá estabelecer níveis mínimos ou máximos de desempenho, passando-se a excluir os que não de adequar a tais valores.

5.4 Considerações

A definição da estrutura de avaliação permite identificar diversas lacunas e limitações para uma avaliação ambiental abrangente, que caracterize de forma precisa os impactos decorrentes do ciclo de vida de subsistemas avaliados. A simplificação da estrutura é inevitável, mas requer a explicitação dos limites e fronteiras da avaliação e do processo de definição de critérios de avaliação. Além de permitir a verificação das condições para as quais a estrutura é válida, a explicitação de tais questões deve permitir o aperfeiçoamento contínuo da estrutura.

6 APLICAÇÃO DA ESTRUTURA DE AVALIAÇÃO

Neste capítulo, a estrutura definida anteriormente é aplicada para a caracterização e comparação do potencial de impacto de duas alternativas para o subsistema de cobertura numa mesma edificação. Esta aplicação deve, primeiramente, verificar a eficácia da estrutura proposta quanto a sua sensibilidade às diferenças dos objetos avaliados e, conseqüentemente, fornecer a caracterização de possíveis impactos ambientais atrelados aos subsistemas avaliados. Constitui, desta forma, uma ferramenta para orientar a tomada de decisão. Concomitantemente à aplicação, foi desenvolvido um modelo de ferramenta de sistema de avaliação em ambiente MICROSOFT EXCEL™.

6.1 INTRODUÇÃO

A aplicação da estrutura de avaliação segue as etapas apresentadas na figura 20.

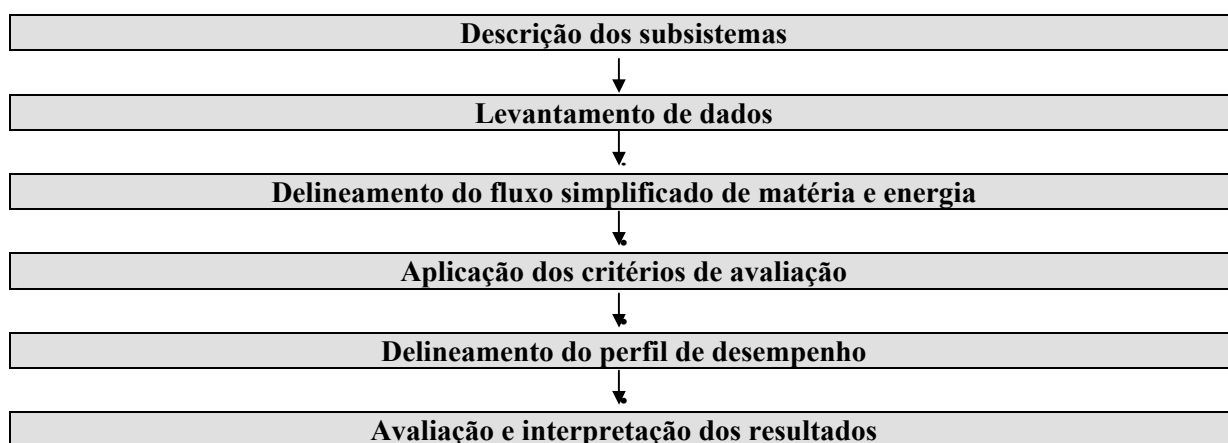


Figura 20: delineamento do processo de aplicação da estrutura de avaliação

O levantamento de dados culminou no delineamento de um fluxograma simplificado de matéria e energia no ciclo de vida das alternativas. Este fluxograma deve facilitar a visualização e sistematização dos dados necessários para a caracterização dos critérios da estrutura de avaliação, em função da unidade funcional definida. A partir do fluxograma, é realizada a aplicação dos critérios de avaliação, possibilitando a identificação de potenciais impactos ambientais relacionados a cada subsistema. Por fim, os resultados da caracterização

dos critérios devem permitir o delineamento do perfil de desempenho de cada alternativa, com o objetivo de auxiliar a interpretação e a comparação dos resultados da aplicação dos critérios.

6.2 SELEÇÃO E DESCRIÇÃO DOS SUBSISTEMAS AVALIADOS

Os subsistemas avaliados constituem duas alternativas para a cobertura de um protótipo de uma habitação de interesse social, construído segundo princípios de sustentabilidade, denominado protótipo Casa Alvorada - CA (SATTLER, 2003). O protótipo CA foi construído no Campus do Vale, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e configura uma tipologia de edificação térrea e isolada, com 45,60 m² de área construída. A figura 21, apresenta a planta baixa, enquanto a figura 22, uma vista externa da edificação.

Ambas as alternativas configuram o quê o Projeto de Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002b) denomina de cobertura leve isolada, recomendada para a zona climática de Porto Alegre. Estas são constituídas de forro, estrutura, telhas de recobrimento e de camadas de isolamento.



Figura 21: planta do protótipo Casa Alvorada



Figura 22: foto do protótipo CA

A primeira alternativa consiste no subsistema efetivamente implantado no protótipo, denominada doravante de subsistema A. A área de projeção horizontal de suas águas é de 65,50 m². Consiste em uma cobertura em duas águas, de orientação norte-sul, sendo que a água de orientação sul constitui 86% da área de projeção horizontal, de forma que, se pode dizer, o subsistema possui a orientação sul como predominante. Alguns detalhes do subsistema A são apresentados na figura 23.



Figura 23: detalhes do subsistema A

Os materiais empregados no recobrimento são telhas cerâmicas, não esmaltadas, do tipo portuguesa. A estrutura é em madeira e concreto. O concreto é utilizado nas vigas transversais e a madeira, em guias longitudinais de pinus-eliote (*Pinus elliotti*) em perfis de 2,5 x 15 cm, justapostos dois a dois. São peças reaproveitadas das fôrmas de fundação e com tratamento alternativo com a mistura de cal e cimento ao qual foram expostas no uso anterior.

Também se utilizou, na estrutura do telhado, ripas de “cedrinho¹²”. Considera-se, também as testeiras de arremate lateral, de pranchas de 25 x 2,5 cm em madeira de “cedrinho”. Com o objetivo de proporcionar maior isolamento térmico para o subsistema, foram aplicadas folhas de alumínio, reaproveitadas de processo de *off-set* de gráficas, fixadas entre as ripas e as guias da estrutura, com face polida e de baixa emissividade voltada para baixo. O forro é, também, em madeira de cedrinho, em lambris de 9 x 1 cm, utilizado tanto na parte interna quanto externa (beirais) da edificação.

O segundo subsistema avaliado, denominado B, é uma alternativa hipotética, com características de projeto semelhantes às do subsistema A quanto à forma e orientação, mas com materiais diferentes. Foi constituído a partir da identificação de materiais, também tradicionalmente utilizados em habitações de interesse social. Os materiais escolhidos são telhas de fibrocimento com fibras de PVA, estrutura em madeira de linhas de “cedrinho” com tratamento convencional (e tóxico), com perfis de 15 x 5 cm, e forro em madeira de pinus, de lambris de 9 x 1 cm, sem tratamento tóxico.

Foram desconsiderados, em ambas alternativas, materiais acessórios, tais como pregos e arames, para fixação de telhas e da estrutura de madeira.

6.3 LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados teve duas finalidades. A primeira, para a caracterização física e funcional, fornecendo a quantificação e caracterização das propriedades dos materiais empregados e de cada subsistema como um todo. A segunda, para disponibilização dos dados qualitativos e quantitativos do fluxo da matéria e energia, necessários para a caracterização dos critérios de avaliação.

Os quantitativos de materiais, bem como a caracterização qualitativa ou quantitativa dos fluxos de massa e energia, foram expressos em função da unidade funcional da estrutura de avaliação, ou seja, por área de projeção horizontal de área coberta (m²). Para maiores detalhes sobre estes dados, referir ao apêndice A no CD-ROM em anexo.

¹² O termo cedrinho é entendido como uma denominação genérica para madeira nativa não nobre, de densidade média, extraída de forma impactante, aplicada na Construção Civil.

Para o subsistema A, a caracterização física e funcional foi realizada a partir do levantamento de dados do projeto (tais como plantas baixas, cortes, elevações, manual de construção do protótipo), documentos e planilhas da construção (tais como fotos da construção, planilhas dos materiais adquiridos, com a identificação do fornecedor, mas sem definir um fabricante específicos dos materiais). Adicionalmente, se realizou um levantamento no local, com a aferição dos componentes e materiais, permitindo identificar alterações da construção em relação ao projeto original. Derivou disto a elaboração de uma planta atualizada, em conformidade com a obra edificada e a construção de um modelo tridimensional. Adotaram-se procedências prováveis em função da situação dos fabricantes com relação a Porto Alegre. O quadro 32 apresenta quantitativos e a procedência dos materiais utilizados no subsistema A.

As propriedades funcionais caracterizadas foram o desempenho térmico e a estimativa da durabilidade. O desempenho térmico é avaliado em termos do coeficiente global de transmitância térmica (U) do subsistema. Com relação à durabilidade, são realizadas estimativas para cada material empregado, em função da condição de exposição de cada um. O quadro 33 apresenta a caracterização do coeficiente U e, o quadro 34, a estimativa de durabilidade e de reposição da alternativa A.

Materiais	Quantidade útil (kg) ¹	Quantidade total (kg) ²	Fonte	Procedência (estimada)	Estimativa de perdas (%)	Reposições
Telhas cerâmica	3244,8	3666,62	Aferição no local	Bom Princípio RS	13	0
Madeira – cedrinho	541,29	1418,17	Aferição no local / planilhas	Sinope MT	31	1
Madeira – pinus	496,00	1299,52	Planilhas Fotos	Canela RS	31	1
Folhas de alumínio	417,56	417,56	Aferição no local / fotos	Porto Alegre RS	-	0
Concreto – aço	105,61	117,23	Aferição no local / TCPO ⁴	Sapucaia do Sul RS	11	0
Concreto – brita	1215,00	1676,04	Aferição no local / TCPO ⁴	Porto Alegre RS	38	0
Concreto – areia	1116,00	1607,04	Aferição no local / TCPO ⁴	Porto Alegre RS	44	0
Concreto – cimento	342,46	534,24	Aferição no local / TCPO ⁴	Esteio RS	56	0
Total (kg)	7478,72	10737,09				
Total (kg/m ²) ³	114,17	163,92				

(1) sem incluir perdas e reposições

(2) incluindo perdas e reposições

(3) projeção horizontal da área de cobertura: 65,50m²

(4) Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (1996)

Quadro 32: quantitativos dos materiais da alternativa A

Material	Camadas							Total
	R _{sext}	Telha	Ar	Alum.	R _{sint}	Ar	Forro	
Transmitância	-	1	-	-	-	-	0,15	-
Espessura (m)	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-
R(m ² .K/W)	0,04		0,018	0	0,17	0,043	0,066	0,896
U	-	-	-	-	-	-	-	1,115

Quadro 33: caracterização da transmitância térmica (U) do subsistema A

Material	Durabilidade (anos)	Reposições
Telhas	30	0
Madeira (ripas de cedrinho) – sem tratamento tóxico	20	1
Madeira (guias de pinus) – sem tratamento tóxico	15	1
Madeira (forro de cedrinho) – sem tratamento tóxico	20	1
Madeira (testeiras de cedrinho) – sem tratamento tóxico	20	1
Alumínio – reaproveitado	30	0

Quadro 34: estimativa de durabilidade e reposição dos materiais

A caracterização do segundo subsistema, denominado alternativa B, é precedida da definição do seu projeto, semelhante na forma, ao primeiro, salvo diferenças na inclinação das águas em função dos requisitos funcionais das telhas empregadas, mas diferindo nos materiais aplicados e nas propriedades térmicas e de durabilidade resultantes. A alternativa é definida a partir da seleção de técnicas e materiais difundidos em Porto Alegre, possíveis de serem aplicados em uma habitação de interesse social, quer pela difusão na cultura construtiva, quer pelo custo e disponibilidade no comércio local.

Não são definidos fabricantes específicos para os materiais. O projeto da alternativa B pode ser encontrado no apêndice B, no CD-ROM que acompanha este trabalho e, no quadro 35, constam os quantitativos e procedências dos materiais do subsistema B. Assim como apresentado para a alternativa A, os quadros 36 e 37 apresentam a caracterização do coeficiente U e a estimativa de durabilidade e reposição do subsistema B.

Materiais	Quantidade útil (kg) ¹	Quantidade total (kg) ²	Fonte	Procedência (estimada)	Estimativa de perdas (%)
Telhas fibrocimento	752,70	752,70	Fabricante	Esteio – RS	0
Madeira – cedrinho	475,67	623,12	Projeto	Sinop - MT	31
Madeira – pinus	281,55	737,65	Projeto	Canela – RS	31
Total	1509,92	2113,47	-	-	-
Total (kg/m ²) ³	25,25	35,34	-	-	-

(1) Sem incluir perdas e reposições

(2) incluindo perdas e reposições

(3) projeção horizontal da área de cobertura: 59,80m²

Quadro 35: quantitativos dos materiais da alternativa B

Material	Camadas				
	R _{sext}	Telha	Ar	Forro	Total
Transmitância	-	0,35	-	0,15	-
Espessura (m)	-	0,008	-	0,01	-
R(m ² .K/W)	0,04	0,02	0,21	0,07	0,51
U	-	-	-	-	1,96

Quadro 36: caracterização da transmitância térmica (U) do subsistema B

Material	Durabilidade (anos)	Reposições
Telhas	30	0
Madeira (linhas de cedrinho) tratada com CCA	30	0
Madeira (forro de pinus)	20	1
Madeira (testeiras de cedrinho) tratada com CCA	20	0

Quadro 37: estimativa de durabilidade e reposição dos materiais

Na etapa seguinte, para a determinação dos fluxos de massa e energia em etapas anteriores à construção, é utilizada, como referência, a quantidade, em massa (kg) de material empregado na unidade funcional. Recorre-se aos dados identificados no capítulo anterior, para a caracterização das cargas ambientais relacionadas às duas alternativas. Os fluxos simplificados de massa e energia são apresentados nas figuras 24 e 25.

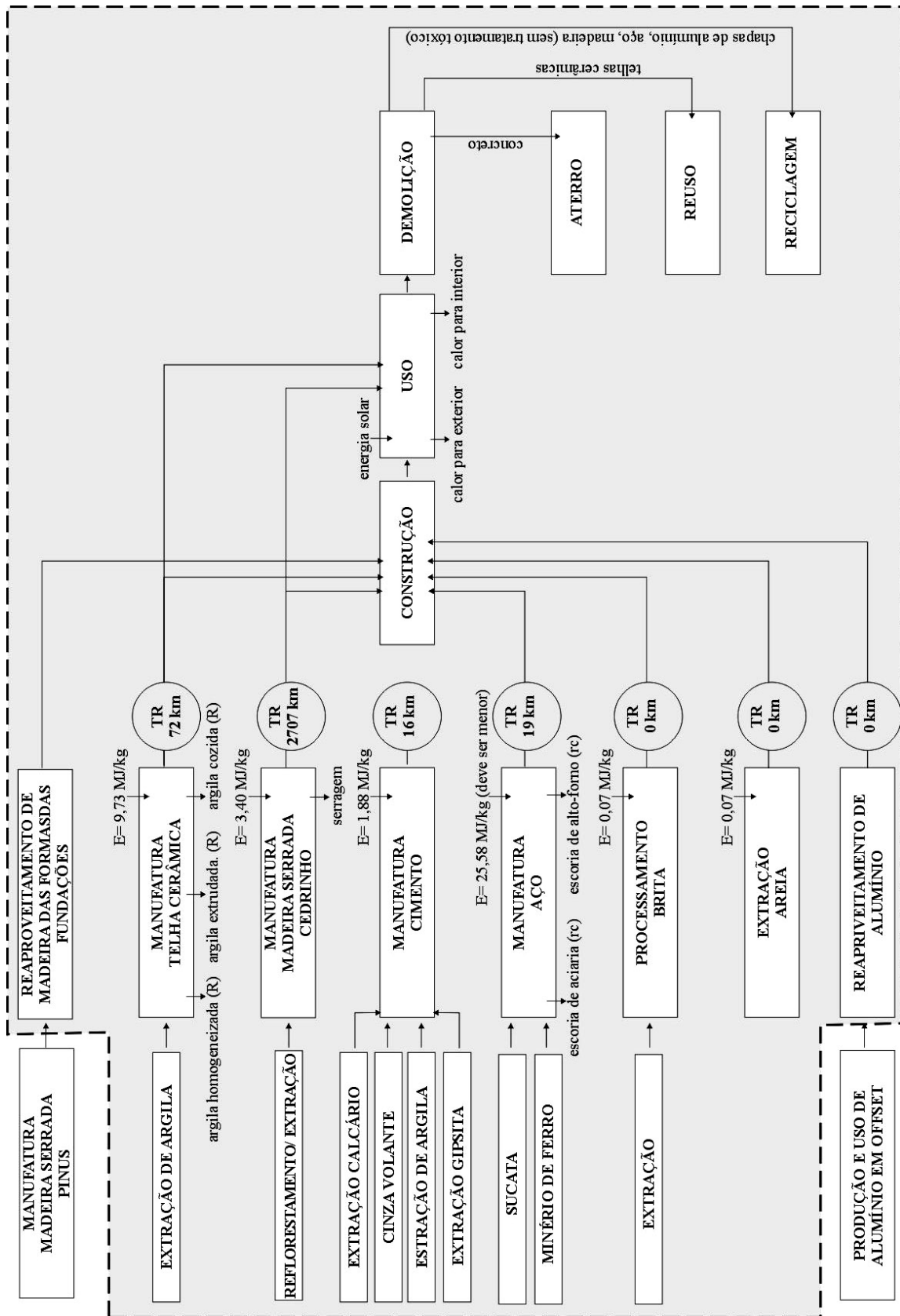


Figura 24: delineamento do fluxo simplificado de massa e energia do subsistema A

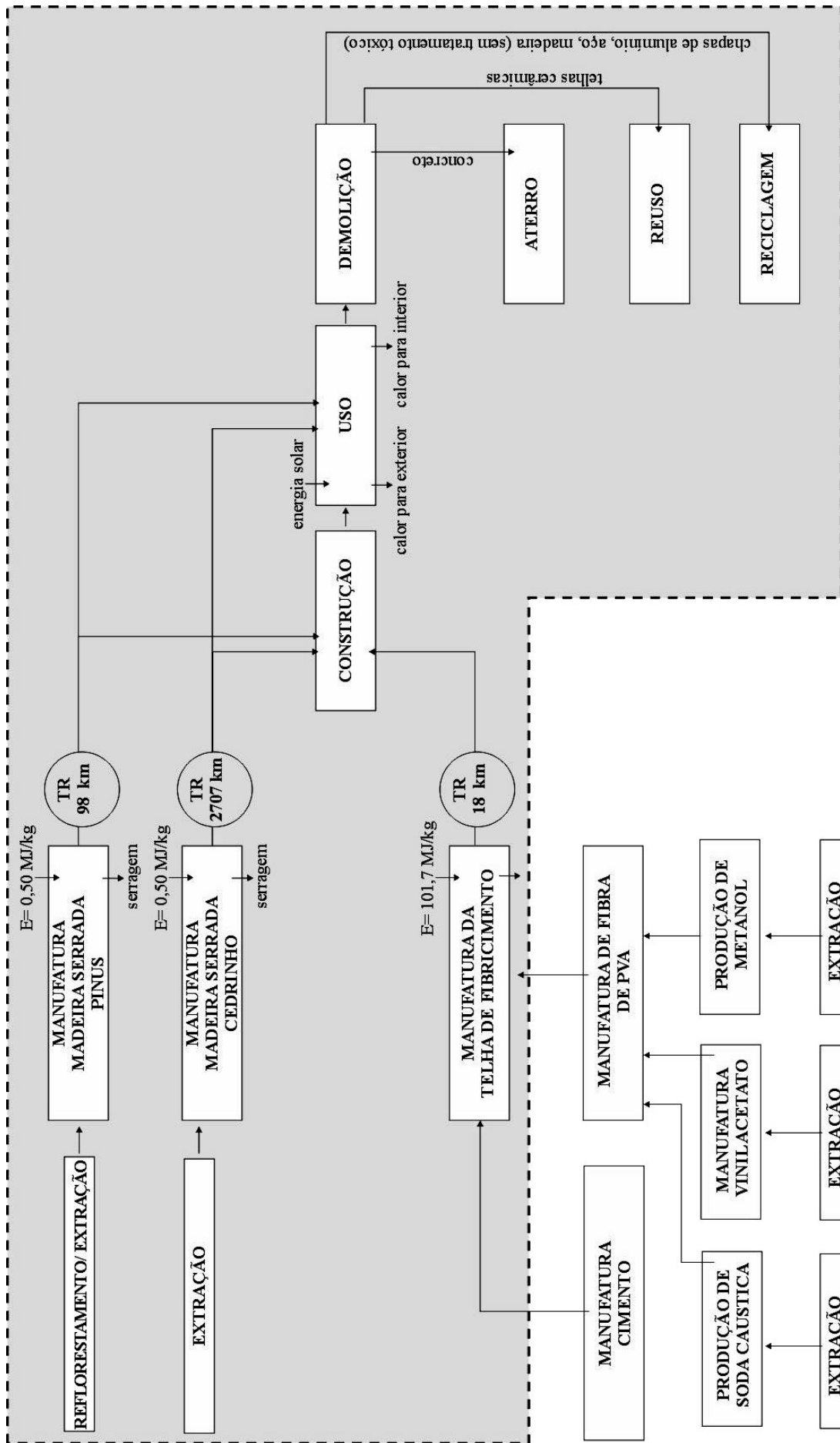


Figura 25: delineamento do fluxo simplificado de massa e energia do subsistema B

6.4. CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Na etapa seguinte, os critérios da estrutura de avaliação são caracterizados, sendo apresentados os procedimentos adotados, as fontes e limitações de dados e o potencial de aperfeiçoamento do critério.

6.4.1 Restrição ao uso de recursos escassos

Parte-se da identificação da composição de cada material utilizado nos subsistemas. Para materiais com pouco processamento (por exemplo, areia, brita, madeira) a caracterização é relativamente simples, podendo ser quantitativa. Nestes casos, apenas um número reduzido, quando não apenas um insumo, é identificado. Para materiais com maior complexidade de processamento (por exemplo, telha de fibrocimento, aço) as composições são mais complexas e apenas qualitativas. As massas dos materiais que incorporam recursos escassos (quadro 38) são somadas e o resultado desta soma é dividido pela área de superfície de projeção de cobertura. A figura 26 apresenta o resultado da caracterização.

Subsistema A			Subsistema B		
Material	Massa (kg)	Disponibilidade	Material	Massa (kg)	Disponibilidade
Telhas cerâmica	3666,62	Abundante	Telhas fibrocimento	752,70	Escasso ⁽¹⁾
Madeira – cedrinho	1418,17	Abundante	Madeira – cedrinho	623,12	Abundante
Madeira – pinus	1299,52	Abundante	Madeira – pinus	737,65	Abundante
Folhas de alumínio	417,56	Escasso			
Concreto – aço	117,23	Escasso			
Concreto – brita	1676,04	Abundante			
Concreto – areia	1607,04	Abundante			
Concreto – cimento	534,24	Abundante			
Total Escasso	534,79		Total Escasso	752,70	
Total (kg/m²)	8,17		Total (kg/m²)	12,59	

1- considerou-se escasso o material em função da presença de fibra de PVA, ainda que se saiba que esta é utilizada em percentual inferior a 3% da massa da telha

Quadro 38: caracterização dos materiais quanto à escassez

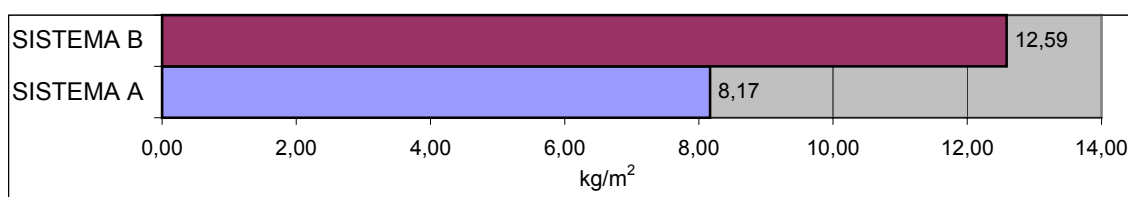


Figura 26: caracterização do critério de escassez dos insumos dos materiais utilizados nos subsistemas

As fontes de informação necessárias para a caracterização deste critério focam a identificação dos insumos de cada material e a identificação da disponibilidade regional destes insumos. Para os primeiros, recorre-se a uma fonte de referência sobre composição de materiais de construção (TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS, 1996) e estudos específicos de materiais (GRIGOLETI, 2001; MANFREDINI, 2003; CARVALHO, 2003). As limitações dos dados dizem respeito à ausência de uma quantificação precisa dos insumos de alguns materiais, como, por exemplo, o fibrocimento e o aço. Isto, possivelmente, também ocorre para muitos outros materiais, ligados a cadeias produtivas complexas, o que leva a classificação qualitativa de um material, independente da quantidade de recursos não-abundantes incorporados. Deve-se considerar, também, a variabilidade da composição dos insumos possível de existir entre fabricantes. Desta forma, a caracterização qualitativa da abundância dos materiais pode apresentar algumas distorções relativas a estas duas limitações, mas é passível de ser aperfeiçoada em função da disponibilidade das informações identificadas acima.

6.4.2 Incorporação de recursos reaproveitados

A caracterização dos recursos **reciclados**, em materiais de construção, é realizada a partir da identificação da prática corrente dos processos produtivos de materiais de construção. Dentre os produtos utilizados nos dois subsistemas, destaca-se o cimento (devido ao possível uso de cinzas volantes de escória de alto-forno como insumo), e o aço (devido à prática de reciclagem de sucata para seu processo produtivo).

Tais práticas foram levantadas a partir de trabalhos específicos sobre materiais (CARVALHO, 2003; GEYER et alli, 1997) e de informações disponibilizadas pelos fabricantes (GERDAU, 2004). Entretanto, o percentual de matéria reciclada é incerto, dependente do tipo de material e de especificidades de cada fabricante. Portanto, novamente, a abordagem qualitativa gera restrições, visto que não permite estimar quantitativamente o conteúdo de insumos reciclados, mas, apenas, a massa dos materiais que possuem ou não insumos reciclados.

Para o caso de recursos **reutilizados**, considerou-se, na alternativa A, as recomendações de projeto para a reutilização de fôrmas das fundações como guias da estrutura da cobertura, bem

como o uso de folhas de alumínio reaproveitadas de gráficas *off-set*. Para o subsistema B, não se considerou a incorporação de qualquer material ou insumo reaproveitado, de forma que toda a massa é contabilizada na caracterização do critério. O quadro 39 apresenta a caracterização do critério para os materiais dos dois subsistemas, realizada a partir da soma da massa dos materiais que não possuem conteúdos reaproveitados. Divide-se esta soma pela área de projeção da cobertura, para se obter o valor por unidade funcional adotada na estrutura. O resultado da caracterização é apresentado na figura 27.

Subsistema A			Subsistema B		
Material	Massa (kg)	Conteúdo Reciclado	Material	Massa (kg)	Conteúdo Reciclado
Telhas cerâmica	3666,62	não	Telhas fibrocimento	752,70	não
Cedrinho	1418,17	não	Madeira – cedrinho	623,12	não
Pinus	1299,52	sim	Madeira – pinus	737,65	não
Folhas de alumínio	417,56	sim			
Concreto – aço	117,23	sim			
Concreto – brita	1676,04	não			
Concreto – areia	1607,04	não			
Concreto – cimento	534,24	sim			
Total sem conteúdo reciclado	8367,87		Total sem conteúdo reciclado	2113,49	
Total (kg/m²)	127,76		Total (kg/m²)	35,34	

Quadro 39: caracterização dos materiais quanto ao reaproveitamento

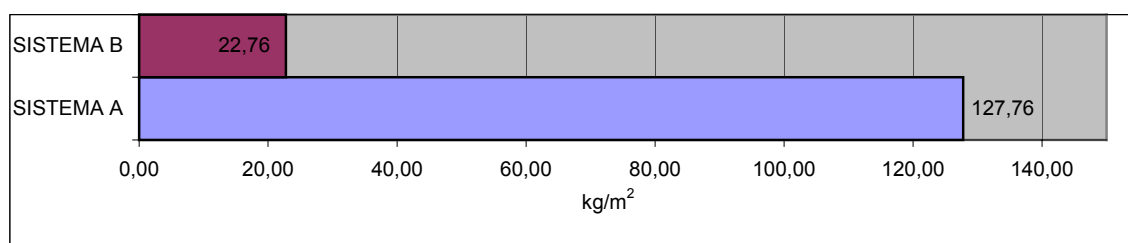


Figura 27: massa de materiais sem conteúdo reaproveitado

6.4.3. Uso de madeira nativa não certificada

Para a caracterização da procedência da madeira, são adotados os dados apresentados no estudo de Sperb (2000). As madeiras de pinus e eucalipto são consideradas de reflorestamento, visto que não são espécies nativas, mesmo existindo uma área considerável de plantações, para diversos fins, no estado do Rio Grande do Sul (FAGUNDES, 2003). Quanto à madeira nativa **certificada**, não é considerada, num primeiro momento, sua disponibilidade. O procedimento para caracterização do critério consiste em identificar os

tipos e as massas de madeira utilizada nos subsistemas, somando-se as massas da madeira de espécies nativas e não certificadas, e dividindo o resultado pela área de projeção coberta de cada subsistema. No quadro 40 consta a caracterização dos elementos de madeira dos dois subsistemas e, na figura 28, constam os valores das massas de madeira nativa não certificada para os dois subsistemas.

Subsistema A			Subsistema B		
Material	Massa (kg)	Tipo	Material	Massa (kg)	Tipo
Cedrinho	1418,17	Nativa NC ¹	Cedrinho	623,12	Nativa NC ¹
Pinus	1299,52	Reflorestamento- NC ¹	Pinus	737,65	Reflorestamento- NC ¹
Total	1418,17		Total	623,12	
Total (kg/m²)	21,65		Total (kg/m²)	10,42	

(1) NC = Não Certificada

Quadro 40: caracterização da madeira empregada nos subsistemas

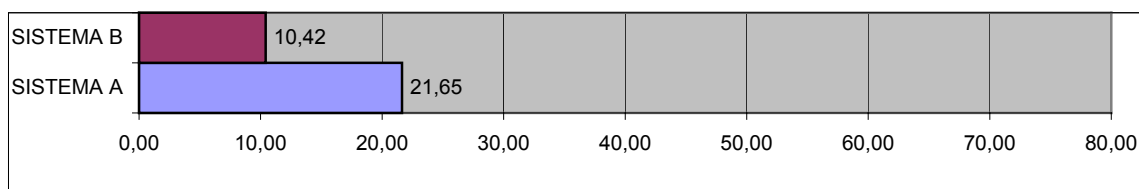


Figura 28: percentual de madeira nativa não certificada

6.4.4 Conteúdo energético de fontes impactantes

A caracterização deste critério pode ser dividida em vários passos:

- cálculo do conteúdo energético: a partir dos índices energéticos dos diferentes materiais;
- identificação da matriz energética: para a produção dos materiais. As fontes energéticas identificadas podem, então, ser classificadas em impactantes e não impactantes, conforme apresentado nos quadros 19 e 20;
- identificação dos percentuais das fontes energéticas presentes na matriz de processos de produção dos diversos materiais, conforme os dados apresentados nas tabelas 1 e 2: possibilitando, assim, a determinação da fração do conteúdo energético vinculado a fontes impactantes;
- desconto do percentual não impactante do total de energia aportada: calculada no primeiro passo, gerando, então, o valor necessário para a caracterização do critério.

O quadro 41 mostra a caracterização dos materiais dos subsistemas quanto ao conteúdo energético impactante e, na figura 29, a comparação dos resultados, sendo sensivelmente desfavorável.

	Material	Massa (kg)	MJ/kg	% impactante	MJ _i /kg (impactante)	Total por material MJ _i
Subsistema A	Telhas cerâmicas	3666,62	9,73	2	0,195	714,99
	Madeira – cedrinho	1418,17	-	-	-	0
	Madeira – pinus	1299,52	0,50	0	-	0
	Folhas de alumínio	417,56	-	-	-	0
	Concreto – aço	117,23	25,58	91,80	23,33	2734,97
	Concreto – brita	1676,04	0,07	100 ⁽²⁾	0,07	117,32
	Concreto – areia	1607,04	0,07	100 ⁽²⁾	0,07	112,49
	Concreto – cimento	534,24	1,88	86,47	1,62	865,46
	Total (MJ_i)	10737,09	-	-	4101,81	4545,23
Total (kg/m²)	-	-	-	-	69,36	
Subsistema B	Telhas de PVA	752,70	101,7 ⁽³⁾	84 ⁽²⁾	85,42	64301,66
	Madeira – cedrinho	623,12	0,50	0 ⁽⁴⁾	0	0
	Madeira – pinus	737,65	0,50	0	0	0
	Total (MJ_i)	2113,49	-	-	-	64301,66
	Total (kg/m²)	-	-	-	-	1075,28

(1) descarta-se consumo energético de materiais reaproveitados

(2) na ausência de valores de referências, considerou-se a pior possibilidade

(3) este valor, diz respeito às telhas com fibras de PVA, conforme indicam os dados do Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (2004), indicados no quadro 13

(4) não foram incluídos gastos energéticos para o transporte da madeira desde a extração até o beneficiamento

Quadro 41: caracterização dos materiais quanto a fontes energéticas impactantes

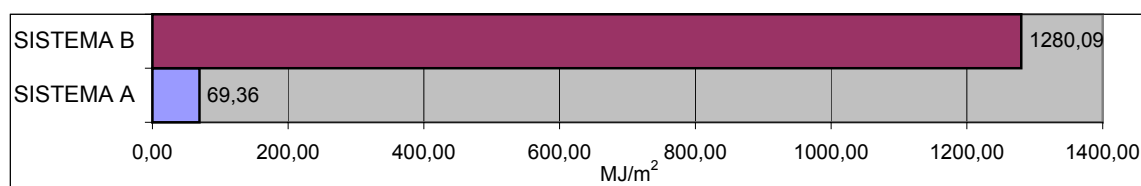


Figura 29: conteúdo energético de fontes impactantes

O critério possui abordagem parcialmente:

- a) quantitativa: ao quantificar os gastos a partir de índices energéticos;
- b) qualitativa: ao classificar as fontes como impactantes e não impactantes.

Existem limitações introduzidas por ambas abordagens. Pelo aspecto quantitativo, devido às incertezas atreladas aos índices energéticos, tomados a partir de dados secundários da literatura e suscetíveis a distorções que já foram apontadas anteriormente. Há imprecisão,

também, na determinação do tipo e dos percentuais das fontes energéticas empregadas na produção de cada material. Estes dados, ora são estimados a partir de levantamentos macroeconômicos (BRASIL, 2003), ora a partir de processo específicos (CARVALHO, 2003). Ambas as abordagens incorporam incertezas ao critério, sendo que, para setores da cadeia produtiva mais homogênea (como por exemplo, cimento e aço), o uso de dados macroeconômicos para a determinação dos percentuais de fontes energéticas empregadas tende a ser menos sensível às variações resultantes dos diferentes métodos produtivos. Já para setores mais heterogêneos, como o da produção de cerâmica, o uso de tais dados tende a apresentar distorções maiores, visto que existem grandes diferenças quanto às fontes energéticas e, também, quanto ao rendimento dos processos. Assim, opta-se por adotar, em relação a produção de cerâmica, dados específicos de um processo de produção, identificados no trabalho de Manfredini (2003). Pelo lado qualitativo, ressalta-se a subjetividade da classificação das fontes em impactantes e não impactantes, apresentada anteriormente nos quadros 19 e 20.

Apesar das limitações e incertezas apresentadas, adota-se o critério, mas se aponta a necessidade de contínuo aperfeiçoamento dos dados a partir da disponibilidade de índices energéticos mais confiáveis, bem como do conhecimento quantitativo e qualitativo do uso de energia nos processos envolvidos na produção dos materiais.

6.4.5 Consumo energético e emissões decorrentes do transporte rodoviário

A caracterização dos gastos energéticos para transporte rodoviário baseia-se nos índices energéticos desenvolvidos por Sperb (2000), adaptados para valores atualizados de poder calorífico e massa específica do óleo diesel. Para a caracterização, são necessários, além dos índices, estimativas e pressupostos das distâncias e massas transportadas. O procedimento consiste em calcular o produto da massa, índice energético para transporte e a distância transportada, gerando o valor de aporte energético no transporte dos materiais em MJ.

A partir deste, se aplica o índice de emissões de CO₂ gerado pela queima de óleo diesel, conforme o quadro 22. Os valores relacionados a cada material são apresentados no quadro 42 e, as figuras 30 e 31 apresentam o resultado da caracterização dos critérios para os subsistemas estudados.

As incertezas atreladas a este critério decorrem, principalmente, dos índices utilizados, conforme apontado no capítulo anterior, mas também dos pressupostos utilizados para o cálculo das distâncias da origem dos materiais e tipo de veículo. Considera-se, ainda, que as distâncias estabelecidas para a caracterização são arbitradas em função da possibilidade identificada para a origem dos materiais, não correspondendo à origem específica dos materiais utilizados no subsistema A. A procedência da madeira de cedrinho e de pinus, areias, cimento, aço e brita, foram as adotadas por Sperb (2000), e a procedência de telhas cerâmicas e de fibrocimento foi arbitrada em função da identificação de fabricantes próximos a região de Porto Alegre. A caracterização pode ser aperfeiçoada com a disponibilidade de índices específicos para a frota brasileira.

	Material	Massa (kg)	Coefficiente de gastos energéticos (MJ/ kg.km)	Distância (km)	Consumo (MJ)	Fator de emissão (g/MJ)	Emissões (g de CO ₂)
Subsistema A	Telhas cerâmica	3666,62	0,000819	72	216,22	74	16000
	Madeira – cedrinho	1418,17	0,000819	2707	3144,14	74	232666
	Madeira – pinus	1299,52	0,000819	0	0	-	-
	Folhas de alumínio	417,56	0,000819	0	0	-	-
	Concreto – aço	117,23	0,000819	19	1,83	74	135,42
	Concreto – brita	1676,04	0,000819	0	0	-	-
	Concreto – areia	1607,04	0,000819	0	0	-	-
	Concreto – cimento	534,24	0,000819	16	7,00	74	518,00
	Total	10737,09			3369,19		249320,06
	Total/m²			51,44		3806,41	
Subsistema B	Telhas fibrocimento	752,70	0,000819	18	11,09	74	820,66
	Madeira – cedrinho	623,12	0,000819	2707	1381,49	74	102230,26
	Madeira – pinus	737,65	0,000819	98	59,20	74	4380,80
	Total (MJ_i)	2113,49			1451,78		107431,72
	Total (kg/m²)			24,28		1796,54	

Quadro 42: aportes energéticos para o transporte de materiais

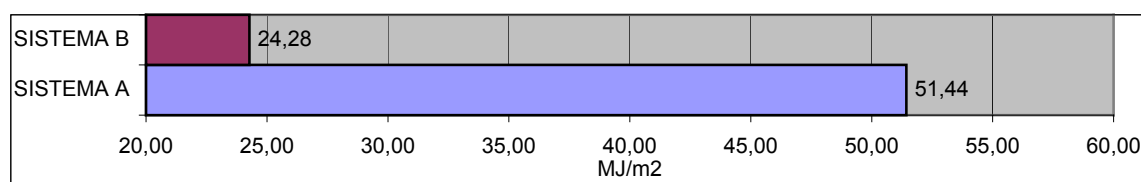


Figura 30: aportes energéticos para transporte de materiais

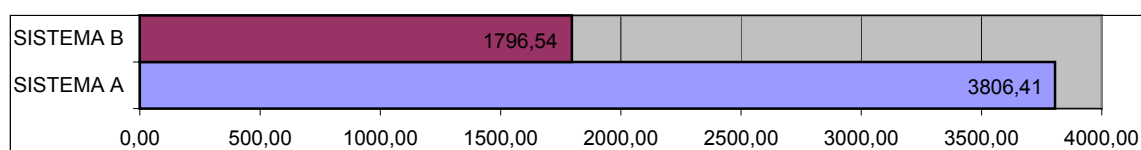


Figura 31: emissões de CO₂, em kg/MJ, relacionados ao transporte

6.4.6 Emissões de resíduos tóxicos

A caracterização baseia-se apenas na identificação de materiais cujos processos de manufatura e processamento, bem como de disposição final, emitam resíduos classe 1 pela NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2004). O quadro 43 caracteriza os materiais individualmente e a figura 32 apresenta os resultados da comparação entre os dois subsistemas.

Subsistema A			Subsistema B		
Material	Massa (kg)	Resíduos Perigosos	Material	Massa (kg)	Resíduos Perigosos
Telha cerâmica	3666,62	não	Telha fibrocimento	752,70	sim ¹
Cedrinho (não tratado)	1418,17	não	Cedrinho (tratado)	623,12	sim
Pinus (não tratado)	1299,52	não	Pinus (não tratado)	737,65	não
Folhas de alumínio ²	417,56	não			
Concreto – aço	117,23	sim			
Concreto – brita	1676,04	não			
Concreto – areia	1607,04	não			
Concreto – cimento	534,24	não			
Total com resíduos perigosos	117,23		Total com resíduos perigosos	1375,82	
Total (kg/m²)	1,79		Total (kg/m²)	23,01	

- (1) PVA é um polímero vinílico que é sintetizado pela polimerização vinílica de radicais livres do monômero vinil acetato. O vinil acetato pode causar irritação no trato respiratório e nos olhos, quando inalado ou emitido no ambiente de trabalho. Para a produção do vinil acetato existem vários processos, onde, dentre outras substâncias, encontram-se o acetileno e o ácido acético.
- (2) não se contabilizou resíduos para materiais reutilizados

Quadro 43: caracterização dos materiais dos subsistemas quanto a presença de resíduos perigosos

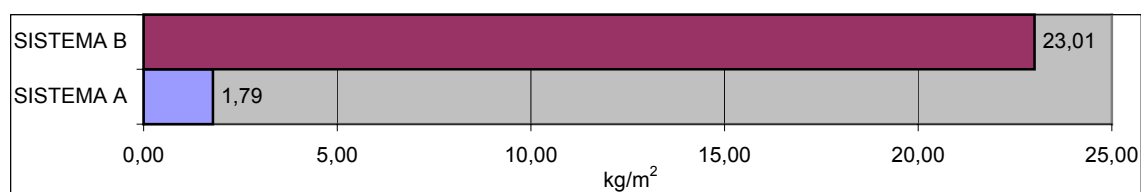


Figura 32: percentual da massa de materiais atrelados a resíduos classe 1 na sua produção ou disposição final

A limitação desta caracterização está, primeiramente, no fato de não esclarecer sobre a destinação dos resíduos, de forma que, alguns resíduos perigosos podem ter destinação adequada e menos impactante, enquanto outros não. Além disto, a caracterização qualitativa, pode levar a distorções na medida em que são colocadas, em igualdade, alternativas com quantidades iguais em massa de materiais, mas vinculadas a quantidades diferentes de resíduos perigosos. Outra limitação é determinada pelos limites da estrutura de avaliação, ao se excluir processos de manufatura dos insumos dos materiais. Por exemplo, o processo de

manufatura das fibras de PVA é excluído. Assim, o aperfeiçoamento do critério deverá incluir a quantificação e a consideração da destinação dos resíduos em processos específicos, bem como a expansão dos limites da estrutura de avaliação.

6.4.7 Potencial de reaproveitamento dos materiais

O potencial de reaproveitamento de materiais, entendido como o potencial para reuso ou reciclagem dos resíduos, no fim do ciclo de vida dos subsistemas, é caracterizado em função das possibilidades técnicas atuais para tais materiais e da presença de restrições para o reaproveitamento. Assim, os materiais são classificados segundo o grau de potencial de reaproveitamento (alto, baixo ou nulo), em função de tais restrições e potencial técnico para reaproveitamento (quadro 44). Identificados os materiais constituintes de cada subsistema, é feita a identificação dos que têm potencial nulo ou baixo, conforme definido no capítulo anterior: a caracterização do critério é feita pela soma da massa de materiais com potencial de aproveitamento baixo ou nulo, conforme a figura 33.

No subsistema A, são passíveis de reaproveitamento a massa das telhas cerâmicas, da madeira sem tratamento tóxico e do alumínio. No subsistema B, considera-se, apenas, a massa da madeira de pinus empregado no forro como adequada para reutilização.

Subsistema A			Subsistema B		
Material	Massa (kg)	Potencial	Material	Massa (kg)	Potencial
Telhas cerâmicas	3666,62	alto	Telhas fibrocimento	752,70	alto
Madeira – cedrinho	1418,17	alto	Madeira – cedrinho ⁽¹⁾	623,12	nulo
Madeira – pinus	1299,52	alto	Madeira – pinus	737,65	alto
Folhas de alumínio	417,56	alto			
Concreto – aço	117,23	alto			
Concreto – brita	1676,04	baixo			
Concreto – areia	1607,04	baixo			
Concreto – cimento	534,24	baixo			
Total (baixo/nulo)	3817,32		Total (baixo/nulo)	623,12	
Total (kg/m²)	58,59		Total (kg/m²)	10,42	

(1) supõe-se madeira tratada convencionalmente com CCA

Quadro 44: massa de materiais com potencial de reaproveitamento nulo ou baixo por unidade funcional

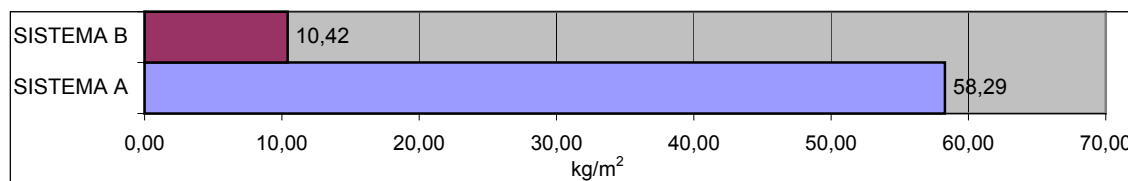


Figura 33: massa de materiais com potencial de reaproveitamento nulo ou baixo por unidade funcional

A caracterização do critério é limitada pela impossibilidade de se prever o potencial técnico de reciclagem para materiais e resíduos que, hoje, encontram restrições e foram, portanto, considerados com potencial de reaproveitamento nulo ou baixo. Outra limitação é a sensibilidade do critério às condições contextuais que determinam grande variabilidade na demanda de recursos para reaproveitamento, tais como aspectos legais e de valor de mercado, e que não foram considerados.

6.4.8 Desempenho térmico

A caracterização dos critérios de desempenho térmico é feita em função do coeficiente global de transmitância térmica (U) dos subsistemas e do fator de calor solar.

São considerados os limites estabelecidos no Projeto de Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002c) com relação aos valores de transmitância térmica e de fator de calor solar. Na bibliografia foram levantados os coeficientes de condutibilidade térmica e da resistência térmica superficial do ar para diferentes situações identificadas nos subsistemas. Nos projetos, foi feita a identificação das espessuras das camadas resultantes dos materiais. Calculou-se o coeficiente U para as alternativas, baseando-se nos procedimentos determinados pelo Projeto de Norma, e os resultados são apresentados na figura 34. Desconsidera-se o efeito da resistência térmica da estrutura da cobertura.

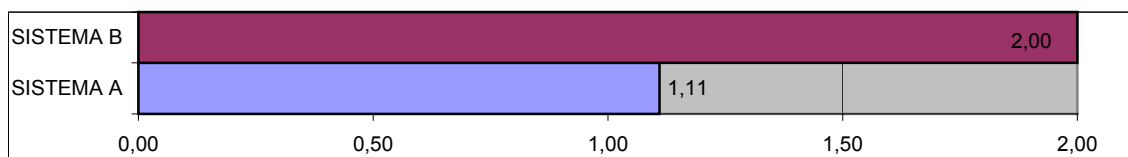


Figura 34: coeficiente global de transmitância térmica dos subsistemas em $W/m^2.K$

A limitação deste critério está no fato que, embora a resistência térmica seja um fator significativo para a determinação do desempenho térmico da cobertura, outros critérios, tais como a orientação, inclinação das águas e o atraso térmico e taxas de infiltração e ventilação, também interferem no desempenho térmico. Incluir a consideração destes critérios, introduz, entretanto, uma complexidade na sua caracterização que se acredita ser apenas passível de tratamento adequado por meio de ferramentas de simulação, demandando um esforço incompatível para uma ferramenta que tem por proposta ser simples.

Os valores de fator de ganho solar são calculados a partir da fórmula encontrada no Projeto de Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA, 2002a):

$$FS = 100 \cdot R_s \cdot U \cdot \alpha \quad (\text{equação 1})$$

onde,

FS é o fator de ganho solar em %

R_s é a resistência superficial externa em $(m^2.K)/W$

U é a transmitância térmica (calculada anteriormente) em $(m^2.K)/W$

α é a absorvância da telha, que varia entre 0 e 1

A partir dos valores de absorvância deduzidos dos dados de Ferreira e Prado (2003), do valor de transmitância calculado, do valor de resistência superficial recomendado pelo Projeto de Norma, o fator de calor solar é calculado para a situação de verão (quadro 45).

		R_s [($m^2.K$)/W]	U ($W/m^2.K$)	α	FS (%)
Subsistema A	100	0,04	1,11	0.32	1,42
Subsistema B	100	0,04	1,98	0.60	4,75

Quadro 45: caracterização dos valores de fator de calor solar dos subsistemas de cobertura.

A figura 35 apresenta a comparação do critério de fator de calor solar para os dois subsistemas.

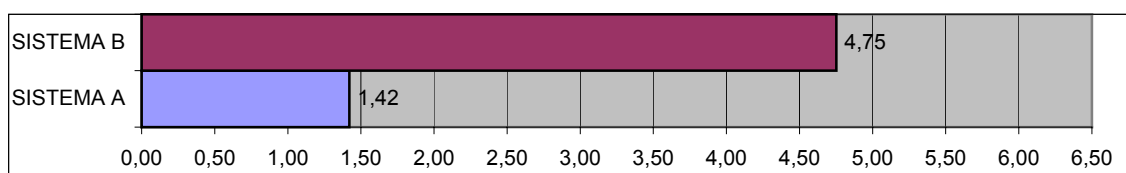


Figura 35: fator de calor solar subsistemas de cobertura

6.5 AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS

A avaliação e interpretação dos resultados são procedimentos críticos para métodos e sistemas de avaliação ambiental devido, principalmente, à introdução de subjetividade para a seleção de uma alternativa, frente às necessidades do usuário.

A subjetividade pode estar embutida no sistema, na forma de normalizações e ponderações para gerar um índice geral de desempenho, apontando a melhor solução para o contexto da estrutura de avaliação ou pode ser extraída da estrutura e atribuída ao usuário. A estrutura proposta não agrega os diversos critérios em um índice único e, desta forma, são excluídos fatores subjetivos para a ponderação dos critérios. O usuário, apenas será informado de como as alternativas se comportam em relação aos diferentes critérios, podendo realizar sua escolha em função de suas prioridades e ponderações particulares.

A figura 36 reúne os resultados dos critérios caracterizados anteriormente e configura o que se optou por denominar de **perfil de desempenho ambiental**. Neste caso, **todos os critérios implicam em repercussões ambientais negativas** e, assim, **quanto menor o valor no perfil, melhor o desempenho da alternativa com relação ao critério**. A adoção deste formato ocorre como forma de lidar com a tarefa de decisão a partir de múltiplos critérios, o que implica em um nível de complexidade alto, levando-se em conta que a relação entre os critérios não é linear, bem como a existência de uma hierarquia de valores tênue e subjetiva entre os mesmos.

O perfil de desempenho apresentado configura uma interface gráfica, que facilita a visualização conjunta dos critérios caracterizados, mas não permite derivar um índice único, e por isso, apenas é meio de apoio à tomada decisão, sem apresentar uma alternativa como mais

adequada. No caso desta pesquisa, frente ao perfil de desempenho ambiental da figura 36, verifica-se que cada uma das alternativas têm melhor desempenho em 5 dos 10 critérios, o que não possibilita, em princípio, a identificação de uma alternativa mais favorável.

Apointa-se como limitação na análise do perfil, que a ausência de valores de referências sobre desempenho torna impossível a análise das alternativas em função de uma faixa de desempenho adequada. Entende-se que a impossibilidade, em um primeiro momento, da determinação de faixas de desempenho possa ser superada pela aplicação sistemática da estrutura e a formação de um banco de dados de referência a respeito de grande número de alternativas.

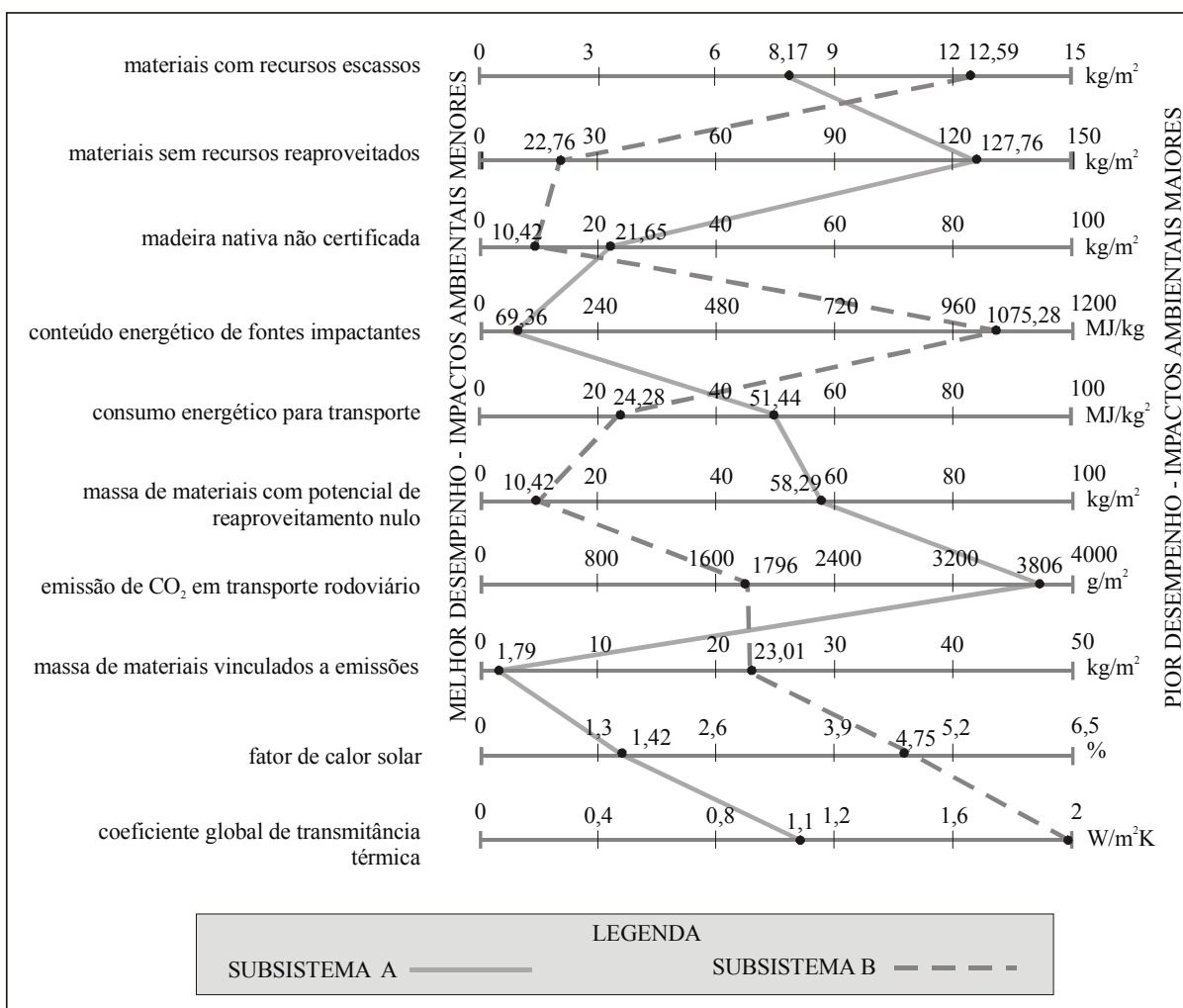


Figura 36: perfil de desempenho de dois subsistemas de cobertura

Para ilustrar a limitação que representa a falta de valores de referências, na figura 37, dois perfis hipotéticos são dispostos lado a lado, sem uma faixa de desempenho requerida para

referência. Colocado desta forma, ao usuário caberá toda a atividade subjetiva de ponderação e priorização de um determinado aspecto em detrimento de outro. Neste caso, não é explicitado se, para o caso específico do usuário, os valores de cada perfil são baixos, altos ou se são adequados para a função a que a alternativa de destina.

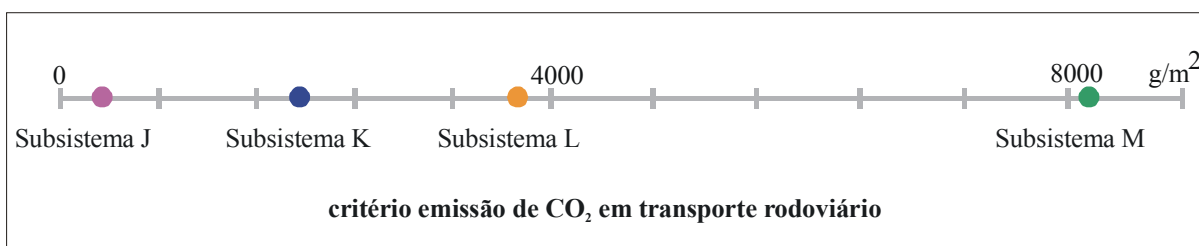


Figura 37: comparação de valores hipotéticos de um critério sem requisição de faixas de desempenho

A figura 38 apresenta valores hipotéticos de diversas alternativas, avaliadas frente a faixas de desempenho. Tais faixas devem resultar da avaliação sistemática de alternativas, fornecendo os valores de referência para as faixas. Pode-se desejar, portanto, optar por alternativas que se situem dentro da faixa de desempenho requisitada, mesmo quando há alternativas com desempenho superior. Por exemplo, o subsistema L da figura 38 seria preferido em relação ao subsistema K, mesmo tendo este, um desempenho superior, se a escolha deste fosse vinculada a gastos maiores que o subsistema L. Assim, se o subsistema L satisfaz as necessidades do usuário, se perguntaria o porquê de pagar mais por uma outra alternativa de desempenho além do que se deseja.

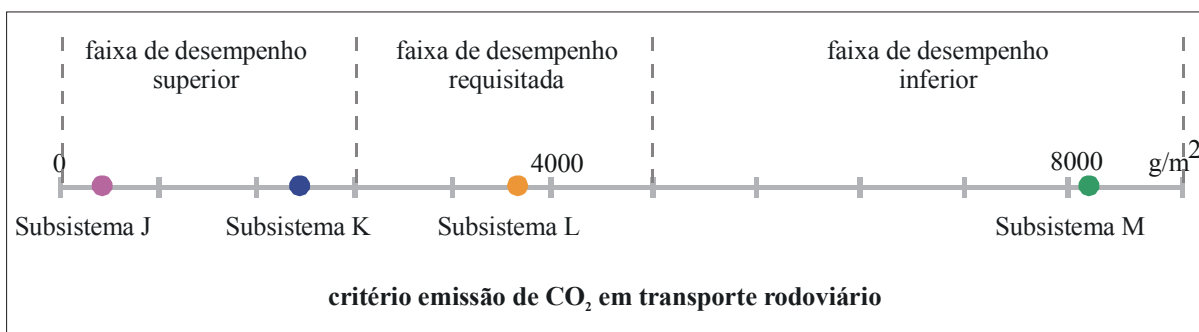


Figura 38: comparação de valores hipotéticos de um critério em relação a uma faixa de desempenho

Colocado desta forma, está exposto um paradoxo da aplicação de métodos e sistemas de avaliação ambiental, de forma geral e, conseqüentemente, para a estrutura aqui proposta: a estrutura torna-se menos eficaz no apoio a tomada de decisão por não possuir valores de referência para balizar as escolhas e decisões, ao mesmo tempo em que deverá proporcionar a possibilidade de desenvolvimento de tal tipo de informação. Um agravante desta situação é o fato de que os valores de referência deverão provir necessariamente das avaliações desta estrutura e não de outras, visto que, os resultados de diferentes métodos tendem a diferir. O aperfeiçoamento da estrutura, deverá, portanto, necessariamente, depender da aplicação sistemática da mesma, como única forma de colocar à prova a eficácia, para diferenciar as alternativas e gerar dados de referência para avaliações futuras.

A apresentação dos critérios desagregados traz, também, a possibilidade de resgatar a relação destes com os impactos adotados no escopo da estrutura de avaliação, conforme a figura 39, que relaciona de forma simplificada e qualitativa sua contribuição para os potenciais impactos apontados.

O subsistema A tem um aporte de recursos significativamente superior ao do subsistema alternativo B, mas apresenta menor consumo de recursos escassos por metro quadrado. Entretanto, o subsistema B possui menor quantidade de madeira não certificada ou de reflorestamento e menor quantidade de materiais sem conteúdo reaproveitado. Neste último critério, o subsistema B, mesmo com 100% de seus insumos sem recursos reaproveitados ($35,34 \text{ kg/m}^2$), apresenta vantagem frente ao subsistema A, que possui $127,10 \text{ kg/m}^2$ de materiais sem conteúdo reaproveitado.

Diferencia-se, também, o subsistema A, do ponto de vista do uso de recursos energéticos impactantes, com valores inferiores, tanto para manufatura ($69,36 \text{ MJ/m}^2$), quanto para transporte de seus materiais constituintes ($24,69 \text{ MJ/m}^2$). No único critério a caracterizar o impacto de toxicidade sobre o meio ambiente e o homem, o subsistema A apresentou uma menor quantidade, por área, de materiais atrelados a emissões nocivas ($1,79 \text{ kg/m}^2$ de materiais atrelados a emissões nocivas, contra $23,01 \text{ kg/m}^2$ do subsistema B).

	Descrição	Sistema	
		A	B
Depleção de recursos	Materiais com recursos escassos (kg/m ²)	8,17	12,59
	Materiais sem conteúdo reaproveitado (kg/m ²)	127,76	22,76
	Madeira nativa não certificada (kg/m ²)	21,65	10,42
	Total de conteúdo energético impactante por unidade funcional (MJ/m ²)	69,36	1075,28
	Total de energia para transporte por unidade funcional (MJ/m ²)	51,44	24,28
	Massa dos materiais com pot. de reaproveitamento baixo ou nulo (kg/m ²)	58,28	10,42
Mudança climática	Total de emissões de CO ₂ decorrentes do transporte rodoviário (kg CO ₂ /m ²)	3806	1796
Toxicidade ao ecossistema e ao homem	Massa dos materiais que geram resíduos tóxicos (kg/m ²)	1,79	23,01
Conforto do ambiente interno	Fator de calor solar (0-6,5)	1,42	4,75
	Transmitância térmica (0 e 2)	1,11	2,00

Figura 39: relação dos critérios caracterizados aos impactos do escopo da estrutura de avaliação

Nos critérios relacionados ao conforto do ambiente interno, a alternativa A se sobressai, por possuir menor transmitância térmica (U) e fator de calor solar. O desempenho térmico da alternativa B, embora atenda de forma satisfatória estes dois parâmetros, é superado pelo subsistema A.

Extrapolando o projeto apresentado para o subsistema B, e explorando outras possibilidades, poder-se-ia concluir que, por exemplo, se nele fosse aplicada a solução de isolamento do subsistema A, ambos apresentariam coeficiente U muito próximos, sendo que os valores dos demais critérios pouco seriam modificados, visto que materiais reaproveitados não contabilizam aportes energéticos, tampouco com transportes, se são provenientes da mesma região metropolitana. Ainda assim, segundo os critérios considerados para o conforto do ambiente interno, as soluções não poderiam ser consideradas equivalentes, já que o fator de calor solar seria um diferencial favorável ao subsistema A.

O perfil apresentado, na ausência de faixa de desempenho para balizar decisões, poderá ter diversas interpretações, a depender das prioridades do usuário. Por exemplo, a alternativa A, para um usuário que priorize o desempenho térmico e a qualidade do ambiente interno,

apresenta resultados favoráveis, pois atende ao critério de forma diferenciada, mantendo, ainda, desempenho superior em outros aspectos.

Além das observações da comparação entre os dois subsistemas, algumas considerações podem ser realizadas em relação aos critérios propriamente ditos. Primeiramente, no caso do subsistema A, o valor do aporte energético para transporte é próximo ao do aporte energético impactante para a manufatura de materiais (tabela 4). Assim, o transporte de materiais tende a receber maior relevância, contrariando uma tendência de se menosprezar tal valor.

Subsistema	Conteúdo energético total (MJ/m ²)	Conteúdo energético impactante		Aporte energético para transporte		Aporte energético impactante total	
		MJ/m ²	%	MJ/m ²	%	MJ/m ²	%
A	628,53	60,81	55	49,95	45	110,76	100
B	1280,09	1075,28	97,75	24,69	2,25	1099,97	100

Tabela 4: comparação entre conteúdos energéticos impactantes

Quanto à quantidade total de recursos materiais consumidos, pode-se dizer que não representa um critério preponderante para avaliação de impactos relacionados ao uso de recursos. Por exemplo, o subsistema A, possui massa mais que quatro vezes superior ao do subsistema alternativo, mas possui uma menor quantidade de recursos escassos por metro quadrado de área coberta. Portanto, tem uma vantagem do ponto de vista do uso de recursos escassos.

Da mesma forma, para os aportes energéticos, os valores absolutos de consumo diferem proporcionalmente aos valores relativos apenas às fontes impactantes. No caso dos dois sistemas avaliados, a alternativa A possui um consumo energético total de 628,53 MJ/m², mas apenas 60,81 MJ/m² provenientes de fontes impactantes. A diferença ocorre, basicamente, por conta dos aportes energéticos para fabricação de telhas cerâmicas, que representam 86% do total da energia total aportada para todo o subsistema, mas que, no caso deste estudo, apenas 2% do valor total (35676 MJ) foi considerado impactante. No caso da alternativa B, o valor total de 1280,09 MJ/m² passa para 1075,28 MJ/m² de fontes impactantes, uma redução relativamente menor que no primeiro caso.

6.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA ESTRUTURA

A estrutura proposta possui escopo e limites mais restritivos do que os encontrados nos sistemas e métodos de avaliação ambiental do contexto internacional (estes tomados como referências). Isto redundará em uma avaliação com maiores limitações. Do ponto de vista do escopo, a estrutura enfoca um rol restrito de impactos ambientais. Do ponto de vista dos limites de avaliação, diferencia-se pelo enfoque na escala de um subsistema da edificação (cobertura), mas também, por excluir aspectos do ciclo de vida que podem interferir sensivelmente nos resultados.

Deve-se salientar que todos os métodos e sistemas possuem suas limitações e delimitações. O resultado mais imediato disto é que, dificilmente, os resultados de dois sistemas de avaliação diferentes possam ser comparados, mesmo sendo os resultados coerentes em seu contexto de aplicação, ou seja, os limites e escopo da estrutura utilizada.

Entende-se ser importante verificar a **eficácia** da estrutura para caracterizar os aspectos dentro de seus limites e escopo. Entretanto, dado o atual desenvolvimento sobre os mecanismos ambientais, a estrutura dificilmente pode ser considerada como **eficiente** para a caracterização abrangente de todos os impactos relacionados aos subsistemas de cobertura. A eficácia da estrutura proposta está no fato de que, com base em um universo limitado de dados, considerando as suas delimitações, proporciona uma caracterização coerente, que permite diferenciar os aspectos positivos e negativos dos subsistemas em relação a cada critério.

O desenvolvimento do modelo de sistema de avaliação concomitantemente com a aplicação da estrutura, possibilitou facilitar os procedimentos de caracterização sem, no entanto, deixar de explicitar os dados e procedimentos que davam base para os cálculos da caracterização. Para tanto, foram criados quatro módulos onde:

- a) primeiro: inserção de dados relativos ao quantitativo, em massa, dos materiais e da área coberta;
- b) segundo: inclusão de dados sobre as propriedades dos materiais;

- c) terceiro: caracterização dos critérios baseando-se nos dados fornecidos nos dois primeiros módulos;
- d) quarto: apresentação dos resultados.

O modelo de sistema resultante, ainda que passível de melhorias e sofisticações, permitiu a avaliação das duas alternativas, permitindo ainda a realização de algumas avaliações extras, não incluídas neste trabalho, sobre a sensibilidade quanto aos dados das propriedades dos materiais. O modelo, em formato MICROSOFT EXCELTM acompanha este trabalho no CD-ROM, no apêndice C.

Por fim, considera-se que a estrutura de avaliação proposta, vista como um embrião para o desenvolvimento de um método, pode evoluir de diversas formas em várias direções. Pode-se considerar que é possível extrapolar a avaliação para outros subsistemas de uma habitação e, posteriormente, para uma edificação como um todo, o que implica em ampliar os limites da estrutura. Outra possibilidade, é ampliar o escopo da avaliação para a inclusão de novos critérios. Paralelamente, seria importante ampliar o levantamento de dados, o que permitiria uma caracterização mais detalhada e abrangente dos impactos incluídos no escopo da avaliação. No momento em que os dados necessários para a caracterização detalhada de impactos estiverem disponíveis, será possível migrar a caracterização do início dos mecanismos, tal como é determinado para a estrutura, para posições intermediárias. Neste ponto seria possível aproximar a estrutura à de uma ACV, conforme normalizada pela ISO 14040. Posteriormente, em um horizonte longo de tempo, a disponibilidade de modelos confiáveis para a caracterização de impactos finais a partir do levantamento de um inventário amplo, poderia permitir a expansão do escopo da ACV e migração da caracterização para posições finais nos mecanismos de causa e efeito. A figura 40 apresenta esquematicamente, as possibilidades de desenvolvimento da estrutura. Posicionados no fim dos mecanismos, os critérios e possíveis indicadores, poderiam informar sobre os aspectos de maior relevância para a sociedade, que são os impactos finais das cargas ambientais sobre os receptores.

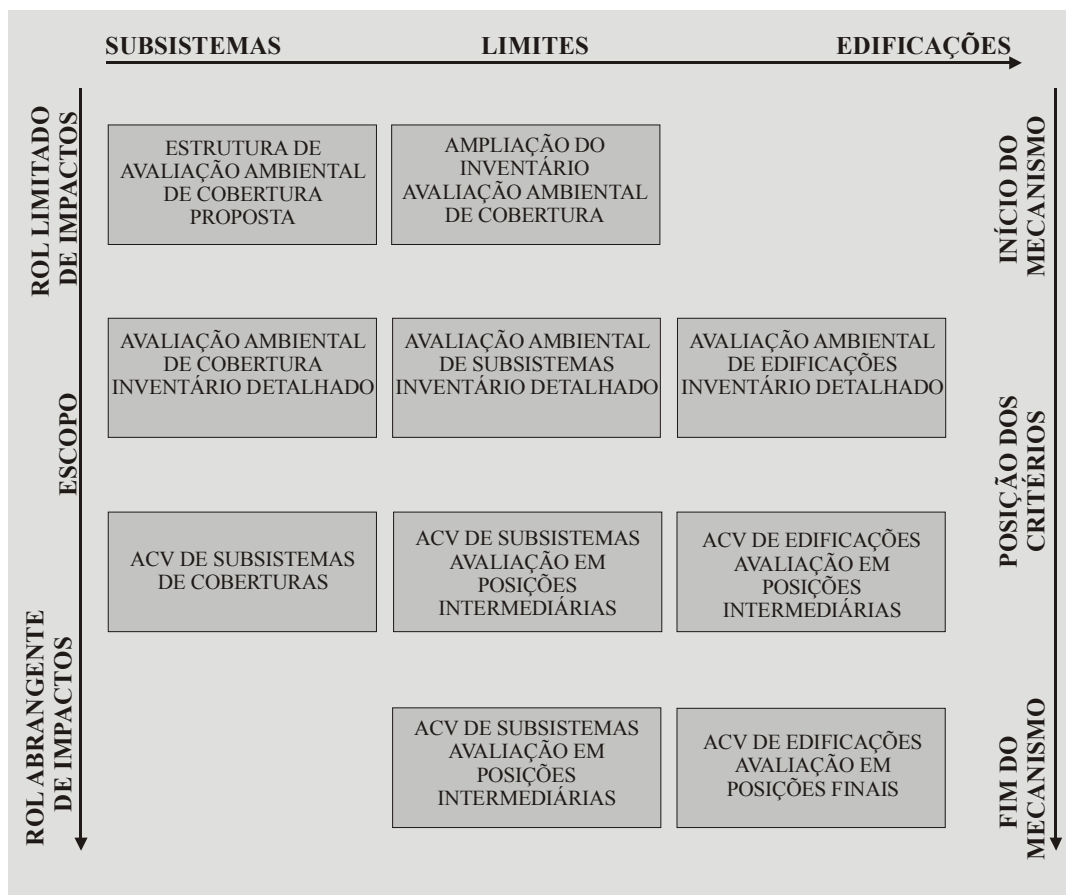


Figura 40: possibilidades de desenvolvimento da estrutura apresentada

É possível prever a inserção de aspectos sociais e econômicos na estrutura de avaliação. Isto deve acarretar, inevitavelmente, o aumento da complexidade da estrutura mas, apenas com a inserção de tais aspectos, será possível realizar uma avaliação da sustentabilidade de subsistemas e edificações, e não apenas ambiental. O escopo, então constituído por aspectos econômicos, sociais e ambientais, em face da realidade brasileira, constituiria o objetivo maior da avaliação ao longo de sua evolução.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No atual estágio dos estudos de avaliação ambiental no Brasil, seria duvidosa a proposição de estrutura, método ou sistema tidos como definitivos. Isto porque, devido à rápida evolução da área, os sistemas e métodos de avaliação são constantemente transformados e aperfeiçoados para informar, de maneira cada vez mais eficiente, sobre as implicações ambientais do ciclo de vida dos produtos avaliados. Justifica-se, então, o termo considerações finais, no lugar de conclusões, no título deste capítulo, pois o que se coloca ao longo deste, são *insights* e questionamentos desprovidos da intenção de serem exaustivos ou definitivos, e são respostas aos objetivos secundários e principal deste trabalho, a serem sintetizados a seguir.

A primeira questão a ser colocada é a revisão dos sistemas existentes, ora através de documentos específicos e primários, ora por meios de fontes secundárias. Este estudo constatou a proliferação de sistemas de avaliação ambiental no contexto internacional, resultando numa grande variedade de sistemas disponíveis, bastante diferentes quanto objetivos, escopo, critérios e forma de apresentação e de interação com o usuário. A partir deles, foram levantados critérios de avaliação que, de alguma forma, foram incorporados na estrutura proposta. É importante observar que, dos sistemas estudados, é possível extrair critérios de avaliação, mas que, nem sempre, estão explicitados os procedimentos adotados para a caracterização dos mesmos. Por esta razão, fala-se de adaptação dos critérios, para dados e procedimentos acessíveis.

No contexto brasileiro, alguns trabalhos recentemente publicados têm gerado referências para a área de avaliações ambientais de produtos e atividades da construção. Entretanto, explicitam o caráter incipiente dessa área de estudo no país. No capítulo quatro, a partir destas fontes, foram reunidas as questões referentes ao escopo de uma estrutura adequada para o Brasil, identificados dados e procedimentos de caracterização, bem como indicadas as limitações existentes para o desenvolvimento da estrutura. Enquanto aqui, limitações determinam a simplificação da estrutura, no exterior, há uma tendência de promover avaliações mais sofisticadas por meio por meio da ACV. Entretanto, tanto em um como noutro contexto, a aplicação de uma ACV para edificações como um todo significa procedimentos e cálculos que muito embora simples, são trabalhosos, demandando recursos e tempo. Inevitavelmente, estes

estão atrelados a incertezas nos resultados finais, além de demandar muitos recursos. Portanto, o que se identifica é uma tendência, que apenas lentamente acarreta a implementação efetiva da ACV, na sua forma completa e normalizada, nos sistemas de avaliação.

Ainda com base na revisão bibliográfica, uma estrutura genérica para sistemas de avaliação é apresentada no início do capítulo cinco. Ainda neste mesmo capítulo, é apresentado o resultado do objetivo principal deste trabalho, ou seja, a estrutura de avaliação ambiental. Esta, é simplificada com relação à fronteiras, ao escopo, aos dados, e aos procedimentos de caracterização utilizados. Esta simplificação deve ser entendida como resposta às limitações identificadas e como estratégia para facilitar e estimular sua implementação, sem que se deixe de perseguir seu aperfeiçoamento. A estrutura é proposta, portanto, mais como um embrião para o contínuo desenvolvimento que resulte em um método de avaliação eficiente e reconhecido, do que como o resultado final e completo de um trabalho.

O escopo da estrutura incluiu um rol reduzido de impactos ambientais, selecionados subjetivamente, entendidos como relevantes ao longo do ciclo de vida de produtos da construção. Diretamente ligados a estes impactos, onze critérios foram incluídos na estrutura, e definidos em função de uma série de diretrizes. Dentre estas, se destaca a necessidade da disponibilidade imediata de dados para caracterização dos critérios; e necessidade da vinculação dos critérios às cargas ambientais posicionadas no início da cadeia de causa e efeito que terminem em impactos relevantes e incluídos no escopo. Novamente, uma parcela de subjetividade é, inevitavelmente, incorporada a estrutura.

Estes critérios, são apresentados de forma desagregada ao usuário da estrutura, na forma de um perfil de desempenho. Este formato de apresentação traz vantagens, a medida em que são extraídas da estrutura atividades subjetivas de ponderação, tornando-a mais robusta. Esta subjetividade no julgamento e interpretação das alternativas fica delegada ao usuário. Logo, uma primeira limitação ocorre caso o usuário não possua algum conhecimento, mesmo que elementar, sobre questões ambientais. Ainda mais, há situações onde a derivação de um índice único é imprescindível, e aí, ponderações deverão ser incluídas na estrutura.

O perfil de desempenho pode facilitar comparações parciais de critérios, selecionados pelo usuário, como os mais relevantes dentre os disponíveis no perfil. Assim, entende-se como positivo, o fato de que, ao se expor os critérios de forma desagregada, o agente tome decisões, em função de suas prioridades e das circunstâncias para cada empreendimento.

A aplicação da estrutura proposta, constitui outro objetivo secundário, apresentado no capítulo 6, que foi importante para que se levantasse alguns questionamentos. São comparadas duas alternativas de subsistemas de cobertura para um protótipo de habitação de interesse social, denominado Protótipo Alvorada. A primeira, denominada subsistema A, é a solução efetivamente construída e projetada a partir de conceitos de sustentabilidade. A segunda, denominada subsistema B, é uma alternativa hipotética, semelhante em forma, mas com materiais e técnicas alternativas, selecionadas dentre as difundidas nas construções populares de Porto Alegre.

A partir da aplicação colocam-se algumas questões. Primeiramente, que a desagregação dos critérios no perfil de desempenho explicitou a inexistência de uma alternativa absolutamente superior. Isto porque, embora o subsistema B tenha sido superior em um maior número de critérios, o subsistema A mostrou-se superior em outros, que a depender das prioridades do tomador de decisão, podem ser preponderantes. O perfil explicita quais os pontos fracos de um subsistema preferido, podendo orientar o aperfeiçoamento do mesmo. Assim, é possível dizer que a partir das comparações apresentadas, ocorra, ainda, a necessidade ou interesse de extrapolar a avaliação, criando subsistemas modificados ou de avaliar novas soluções, mais otimizadas.

Segundo, observou-se que o uso da estrutura possibilita lidar com um número maior de critérios do que se não tivesse tal assistência. Isso ajuda a evitar que as decisões sejam tomadas a partir de apriorismos, e que sejam consideradas questões que, de outra forma, poderiam ser negligenciadas. Por exemplo, o subsistema A incorpora materiais com pouco processamento. A partir de uma visão parcial, alguém poderia supor que esta opção é, necessariamente, melhor que o subsistema B, que contém materiais industrializados ou com processamento mais complexo, como, por exemplo, as telhas em fibrocimento. Materiais pouco processados ou *in-natura* são, geralmente, associados ao conceito de sustentabilidade. Desta forma, poderia se pressupor, aprioristicamente, o subsistema B como inferior ao A, apenas pela observância deste único aspecto. Observando o perfil de desempenho, é possível perceber que a alternativa B oferece vantagens em alguns critérios que não devem ser desprezadas. Assim, ambos subsistemas possuem pontos fortes e fracos, que devem ser considerados, e podem, ainda, ser aperfeiçoados, sendo que a apresentação desagregada explicita tais questões.

Outra questão observada é a limitação da avaliação decorrente da ausência de valores de referência para os diferentes critérios. Isto porque, embora se visualize no perfil o comportamento das duas alternativas para um determinado critério, não há como afirmar que a diferença entre dois valores seja relevante, insignificante ou mesmo que, ambas, estejam aquém do que se consideraria uma média aceitável dentre as soluções existentes para aquele critério. Exceção feita aos critérios de conforto ambiental, onde tais referências existem no Projeto de Norma, utilizado como referência, o que tornou possível situar melhor as alternativas frente ao intervalo recomendado.

Entendeu-se, também, que a simplificação e a subjetividade da estrutura, não impediu que fossem identificadas diferenças entre as alternativas, de forma que, em princípio, foi alcançado o objetivo de estabelecer comparações. Acredita-se que esta simplificação é essencial para viabilizar e estimular o uso inicial de qualquer estrutura de avaliação. Coloca-se, ainda, que os resultados serão tão mais confiáveis quanto maior for a evolução e aperfeiçoamento em termos de abrangência do escopo, dos critérios, e da precisão dos dados e procedimentos de caracterização.

A partir das considerações derivadas da revisão e da aplicação da estrutura, observam-se diversas possibilidades de avanços para a área de estudo, e que constituem as recomendações para trabalhos futuros:

- a) realização de ACV para materiais de construção, dentro de um esforço organizado e sistemático, que permita, também, a atualização periódica dos dados gerados. O resultado de tais atividades deve possibilitar a formação de uma base de dados abrangente sobre cargas ambientais, atreladas a atividades e produtos da construção;
- b) aplicação sistemática da estrutura para diversos tipos de subsistemas de cobertura, gerando dados de referência;
- c) aperfeiçoamento da estrutura, por meio da inserção de dados mais confiáveis e abrangentes sobre as cargas ambientais, possibilitando, também, a ampliação do escopo da mesma;
- d) aperfeiçoamento da estrutura, buscando aproximá-la da estrutura de uma ACV, na medida em que são disponibilizados recursos e dados suficientes para o inventário de dados necessário;
- e) extrapolação do limite da estrutura proposta para a escala da edificação como um todo.

As ações sugeridas devem resultar na superação da estrutura proposta, que teria, então, cumprido o papel de embasar tal desenvolvimento, proporcionando a compreensão mais acurada dos resultados em termos ambientais das atividades da Construção Civil. Por fim, ainda que superadas todas estas limitações para a avaliação ambiental, um desafio maior já aguarda ser superado, que é a avaliação da sustentabilidade de produtos da construção, o que implica em incluir as dimensões econômica e social do escopo da estrutura de avaliação.

REFERÊNCIAS

ADALBERTH, K. Energy use during the Life Cycle of Single- Unit Dwellings: Examples. **Building and Environment**, v. 32, n. 4, p. 321-329, July 1997.

AGOPYAN, V. (Ed.) Apresentação. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADO PARA HABITAÇÕES, 3.,1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 1998.

ALCORN, J. A.; BAIRD, G. Embodied energy analysis of New Zealand building materials - methods and results. In: EMBODIED ENERGY: THE CURRENT STATE OF PLAY, 1996, Geelong. **Proceedings...** Geelong: Deakin University, 1996. Disponível em: <www.ab.deakin.edu.au/Researchinfo/Eeseminar>. Acesso em: 15 ago. 2004.

AMBIENTE BRASIL. **Consumo Industrial de Madeira no Brasil**. Curitiba, 2000a. Disponível em:

<<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/consumo.html>>. Acesso em: 25 set. 2004.

ÂNGULO,S.C.; ULSEN, C.; JOHN V. M.; KAHN, H. Characterisation and Recyclability of Construction and Demolition waste in Brazil. In: WASCON - PROGRESS ON THE ROAD TO SUSTAINABILITY, 2003, San Sebastian. **Proceedings...** San Sebastian: INASMET, 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em: 02 out. 2004.

ANTENOR, S. Plasma torna reciclagem de alumínio mais barata Tecnologia também permite eliminar resíduos: equipamento está em fase final de desenvolvimento. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, Ciência e Meio Ambiente, , 22 de mar. 2004. Disponível em: <<http://www.estadao.com.br/ciencia/aplicada/2004/mar/22/141.htm>>. Acesso em: 12 out. 2004.

ARCHITECTURAL ENERGY CORPORATION. Visual DOE 4.0 . 2004 Disponível em: <<http://www.archenergy.com/products/visualdoe/>>. Acesso em: 7 jul. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: Resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **Projeto de norma 02:135.07-002**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2002a.

_____. **Projeto de norma 02:135.07-003**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2002b.

_____. **Projeto de norma 02:136.01.001**: Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 1, requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2002c.

_____. **Projeto de norma 02:136.01.005**: Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos – Parte 5: coberturas. Rio de Janeiro, 2002d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS EXPOSTOS AO AMIANTO (ABREA). **Informações sobre a luta pelo banimento do amianto e pela reparação aos crimes cometidos contra os trabalhadores expostos no local de trabalho**: informações atualizadas. 2004. Disponível em: <<http://www.abrea.com.br/01informacoes.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ANTAC). **Plano estratégico para Ciência, tecnologia e inovação na área de Tecnologia do Ambiente Construído com ênfase na Construção Habitacional**. Porto Alegre, 2002.

ATHENA. The ATHENA™ SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE (ATHENA). Site institucional. 2004. Disponível em: <http://www.athenasmi.ca/index.html>. Acesso em: 7 jul. 2004.

BARRETO, M. L. **Os atuais desafios no gerenciamento dos recursos não renováveis**: instrumentos econômicos/legais. Rio de Janeiro: CETEM/IMAAC, 2000. Disponível em: <<http://200.20.105.7/imaac/reports.html>>. Acesso em: 16 nov. 2004.

BLACHÈRE, G. **Some examples of the application of the performance concepts**: preparation of requirements and criteria.:. Rotterdam: CIB, 1993. (CIB Report Publication, 157).

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução N° 307**, de 5 de Julho de 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>>. Acesso em: 29 jul. 2004.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. **Térmicas a carvão**. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/termel03.htm>. Acesso em: 26 set. 2004.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Balço Energético Nacional**. Brasília, 2003. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/sen/ben/ben.html>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

BRIGDEN, K., STRINGER, R.; LABUNSKA, I. **Nota Técnica: 21/00**: Poluição por organoclorados e metais pesados associada ao fundidor de ferro da Gerdau em Sapucaia do Sul, Brasil. Exeter: Laboratórios de Pesquisa do Greenpeace, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade de Exeter, 2000. Disponível em: <http://www.greenpeace.org.br/toxicos/pdf/gerdau_sum_exec.pdf>. Acesso em: 12 out. 2004.

BRUCE, M.; COOPER, R. **Creative product design**: a practical guide to requirements capture management. Chichester: John Wiley, 2000.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT. **How does BREEAM work?** Walford: 2004. Disponível em: <<http://products.bre.co.uk/breeam/>>. Acesso em: 7 jul. 2004.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). Macrossetor da Construção 2002. CBIC/FGV, 2002. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/arqs/76enic/foldermacrossetor2004_.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2005

CARDOSO, F. F. **Certificação de “Empreendimento Comercial de Elevado Desempenho Ambiental 2002”**. São Paulo: POLI/USP; CSTB, 2003. Disponível em: <<http://fcardoso.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

CARVALHO, J. de. **Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada a construção civil: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CASTANHEIRA, R. G.; COSTA, C. E. S. Influência da geometria do telhado na radiação solar incidente nos edifícios. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2002.

COLE, R.; IKAGA, T.; HOWARD, N.; NIBEL, S. Building environmental assessment tools: current and future roles. In: WORD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo. **Action for sustentability: academic Programme, Session 4 and 5: Assessment**. Tokyo: Japanese Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT), 2004. Disponível em: <http://www.sb05.com/academic/academic_04.html>. Acesso em: 06 nov. 2004.

COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (CSN). **Balanco Ambiental 2003**. São Paulo: 2003. Disponível em: <http://csna0004.csn.com.br/portal/page?_pageid=1004,104520&_dad=ebiz&_schema=PORTAL>. Acesso em: 18 out. 2004.

CONSELHO BRASILEIRO DE MANEJO FLORESTAL. **Grupo de compradores: compradores privilegiam origem sustentável**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.fsc.org.br>> . Acesso em: 12 out. 2004.

CORNELL UNIVERSITY ERGONOMICS WEB. DEA350: ambient Environment - Volatile Organics and other contaminants. Ithaca, 2002. Disponível em: <<http://ergo.human.cornell.edu/studentdownloads/DEA350notes/Vent/ventnotes2.html>> . Acesso em: 21 jul. 2004.

CORTEZ-BARBOSA, J.; INO, A. Madeira, material de baixo impacto ambiental na construção: análise do ciclo de vida. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2., 2001, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2001. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2004.

CRUZ, A. C., TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem do alumínio: desenvolvimento de inovações tecnológicas In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM DO ALUMÍNIO, 5., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 1999. p. 34 – 46.

DALAL CLAYTON, B. **What is sustainable development?** [S.l]: NSSD, 2003. Disponível em: <<http://www.nssd.net/pdf/sustdev2.pdf>> . Acesso em: 26 mai. 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES –(DNIT). **Distâncias entre Cidades**. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acesso em: 18 out. 2004.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Balanco Mineral Brasileiro** – 2001. Economia Mineral. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm_legis/bmb2001.html>. Acesso em: 28 out. 2004.

DICIONÁRIO AURÉLIO ELETRÔNICO 3.0. Lexikon Informática: Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999. 1 CD-ROM.

DUŠINSKÁ, M.; COLLINS, A.; KAŽIMÝROVÁ, A.; BARANCOKOVÁ, M.; HARRINGTON, V.; VOLKOVÁ, K.; STARUCHOVÁ, M.; HORSKÁ, A.; WSÓLOVÁ, L.; KOCAN, A.; PETRÝK, J.; MACHATA, M.; RATCLIFFE, B.; KYRTOPOULOS, S. Genotoxic effects of asbestos in humans. **Mutation Research: Fundamental and Molecular Mechanisms of mutagenesis**, Amsterdam, v. 553, n. 1-2, p. 91-102, 2004.

ECONOMIA E ENERGIA (ONG). Emissões de gases de efeito estufa na produção e no uso do carvão vegetal. **Economia e Energia**, n. 20, mai./jun., 2000. Disponível em: <<http://ecen.com/eee20/emiscarv.htm>>. Acesso em: 26 set. 2004.

_____. (ONG). O Setor Transportes. **Economia e Energia**, n. 30, jan./fev. 2002. Disponível em: <http://ecen.com/ftp_pag/download.htm> . Acesso em: 12 mar. 2004.

EDÉN, M.; BIRGERSSON, L.; DYRSSEN, C.; SIMES, L. Design for sustainable building - development of a conceptual framework for improved design processes. In: **SUSTAINABILITY IN THE BUILT ENVIRONMENT**, 2003, Pretoria. **Proceedings**...Pretoria: CSIR, 2003. Disponível em: <www.sustainablesettlement.co.za/event/SBE2003/Proceedings/Edenetalfinal2.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2004.

EDWARDS, S.; BENNETT, P. Construction products and life-cycle thinking. **UNEP Industry and Environment**, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 57-60, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>>. Acesso em 29 jun. 2004.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Comparing Environmental Impact Data on Cleaner Technologies**: Technical Report no 1. Copenhagen, 1997a. Disponível em: <<http://reports.eea.eu.int/TEC01/en/4.html#4.2>>. Acesso em: 02 ago. 2004.

_____. **Life Cycle Assessment: a guide to approaches, experiences and information sources**. Copenhagen, 1997b.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de Madeira Serrada e Geração de Resíduos do Processamento de Madeira de Florestas Plantadas no Rio Grande do Sul**. 2003. 173 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, O. P. Produtos e Tecnologias Existentes para a Construção da Cobertura de Habitações no Brasil. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICADO DE TELHADO PARA HABITAÇÕES, 3., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n], 1998.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. Measurement of Albedo or Reflectance of Building Roof Materials in Brazil. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA), 20., 2003, Santiago. **Proceedings...** Santiago: PLEA, 2003. 1 CD-ROM.

FILEV, R. Escória de Aciaria. **Reciclagem de resíduos como materiais para construção: reciclar para construir.** Artigos técnicos: Fichas de Resíduos: São Paulo: PCC-USP, 2004. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em: 18 out. 2004.

FORMOSO, C. T. DE CESARE, C. M.; LANTELME, E. M.V; SOIBELMAN, L. **As perdas na construção civil: conceitos, classificações e seu papel na melhoria do setor.** Porto Alegre: NORIE/UFRGS, 1997. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 19 out. 1997.

FREITAS, C. G. L.; BRAGA, T. O.; BITAR, O. Y.; FARAH, F. **Habitação e meio ambiente: abordagem integrada em empreendimentos de interesse social.** São Paulo: HABITARE, 2001.

GERDAU. **Gerdau construindo e reciclando o Brasil.** Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://www.gerdau.com.br/port/meioambiente/grio_sucata.asp>. Acesso em: 17 nov. 2004.

GEYER, R. T.; GEYER, A.; DAL MOLIN, D.; VILELA, A. C. F. Perspectivas de reciclagem de resíduos da indústria siderúrgica como material de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/>. Acesso em: 18 out. 2004.

GOEDKOOOP, M.; SPRIENSMA R. **The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method For Life Cycle Impact Assessment: Methodology Annex.** Amersfoort: Pré Consultants, 2001. <Disponível em: http://www.pre.nl/download/EI99_annexe_v3.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2004.

GRAHAM, P. The role of building environmental performance assessment in design. **Environment Design Guide**, may 2000. Disponível em: <<http://me.hku.hk/~cmhui/sbs/des33.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2004.

GREEN BUILDING DIGEST. **Roofing Materials.** Liverpool: Ethical Consumer research Association (ECRA); The Technical Aid Network (ACTAC), n. 11, jun./jul. 1996a.? nao encontrei nada nenhuma indicação de numero ou data na internet.

_____. **Timber Preservatives**. Liverpool: Ethical Consumer research Association (ECRA): The Technical Aid Network (ACTAC), n. 12, set. 1996b.

GRIGOLETTI, G. C. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul**. 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GRIGOLETTI, G. C.; SATTLER, M. A. Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais da produção de aço no RS. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

HANSEN, A. M. D. **Consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais, em Porto Alegre**. 2000. 137f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HORVATH, A. Construction Materials and the Environment. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto -US, v. 29, p. 181-204, 2004. Disponível em: <<http://arjournals.annualreviews.org/loi/energy>>. Acesso em: 12 jan. 2005.

HOWARD, N; EDWARDS, S; ANDERSON, J. **BRE methodology for environmental profiles of construction materials, components and buildings**. [S.l]: BRE, 1999.

HUANG, H.; HAGHIGHAT, F. Building materials VOC emissions—a systematic parametric study. **Building and Environment**, v. 38, n. 7, p. 995-1005, jul. 2003.

HUOVILA, P. On the way towards sustainable building. In: SHARING KNOWLEDGE ON SUSTAINABLE BUILDINGS, 1999, Bari. **Proceedings...** Bari: Department of Architecture and Town Planning - Institute of Engineering for Land and Environment, 1999. Disponível em: <<http://www.iris.ba.cnr.it/sksb/SKSB%20abstracts-paper.htm>>. Acesso em: 29 jun. 2004.

IEA ANNEX 31-ENERGY-RALATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. **Context and Methods for Tool Designers**. 2001a. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

_____. **Decision Making Framework**. 2001b. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

_____. **Directory of tools**. 2001c. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

_____. **Environmental Framework**. 2001d. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

_____. **LCA Methods for buildings**. 2001e. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004

_____. **Type of tools**. 2001f. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.uni-karlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso em 24 fev. 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contas Nacionais Trimestrais-Indicadores de Volume e Valores Correntes**. 2005. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 1 abr. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Lista Oficial de Flora Ameaçada de Extinção**. Brasília: IBAMA, 2004. Disponível em: <<http://www2.ibama.gov.br/flora/extincao.htm>>. Acesso em: 18 out. 2004.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Madeira**: uso sustentável na Construção Civil. São Paulo: IPT: SVM: Sinduscon-SP, 2003. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/secao/secao.asp?area=Constru%E7%E3o+Sustent%E1vel&numpai=47&descpai=Meio+Ambiente>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA INDUSTRIAL. **Análise Comparativa do Ciclo de Vida de Fibrocimento AT e Fibrocimento NT**: Relatório Final. INEP/CENDES, 2004.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouses Gas Inventories**: Reference Manual. Geneva, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.htm>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Working with the Performance Approach in Building**. Rotterdam, 1982.

_____. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, 1999.

_____. **Sustainable Roofing**. Rotterdam, 2001. CIB Publication 271. Disponível em: <<http://82.92.64.81/pages/db/Default.html>>. Acesso em: 23 nov. 2004.

_____. **Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Building Materials and Components**. Rotterdam, 2004. CIB publication 295. Disponível em: <www.cibworld.nl/pages/begin/Pub295.html>. Acesso em: 24.jul. 2004.

INTERNATIONAL INITIATIVE FOR SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT. **About GBTool and GBC 2000 - GBC2002 downloadable files**. 2004. Disponível em: <<http://greenbuilding.ca/iisbe/gbc2k2/gbc2k2-start.htm>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: Environmental management: life cycle assessment: Principles and framework. Genebra, 1997.
Daniel Pinho de Oliveira (danielpinhodeoliveira@hotmail.com) – Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 2005

_____. **ISO 14041**: Environmental management: life cycle assessment : goal and scope definition and inventory analysis. Genebra, 1998.

_____. **ISO 14041**: Environmental management: life cycle assessment: life cycle impact assessment. Genebra, 1999.

_____. **ISO/AWI 21931**: Building and constructed assets: sustainability in building constructions: framework for assessment of environmental performance of buildings. Genebra, 2002.

_____. **ISO CD 21930**: Building and constructed assets: sustainability in building constructions: Environmental declaration of building products. Genebra, 2004.

JOHN, V. M. Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e edifícios: cálculo do custo global. In: SIMPÓSIO DE DESEMPENHO DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: [s.n.] 1988, p. 42-52. Disponível em: <<http://www.infohab.org.br/>>. Acesso em: 03 ago. 2004.

_____. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. 2000. 113 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. In: SEMINÁRIO DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CETESB, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2004.

JOHN, V. M.; ÂNGULO, S. C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. In: ROCHA, J. C.; JOHN, V. M.(Ed.). **Utilização de resíduos na Construção Habitacional**. Porto Alegre: ANTAC, 2003.

JOHN, V. M.; AROZTEGUI, J. M. **Durabilidade e Vida Útil dos Edifícios**. Porto Alegre: UFRGS/CPGEC, 1985 Caderno de Engenharia.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Alternativas da gestão de resíduos de gesso **Reciclagem de resíduos como materiais para construção**: reciclar para construir. Artigos técnicos e Palestras. São Paulo: PCC-USP, 2003. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>>. Acesso em: 1 out. 2004.

JONES, A. P. Indoor air quality and health. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 33, n. 28, p. 4535-4564, dez. 1999.

KALAY, Y. E. **The Essence of Collaboration** Berkeley: CAD Research Group, Department of Architecture, University of Califórnia, 1997. (White Paper). Disponível em: <<http://arch.ced.berkeley.edu/people/faculty/kalay/>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

KALAY, Y. E.; KHEMLANI, L.; CHOI, J. W. An Integrated Model to Support Distributed Collaborative Design of Buildings. **Automation in Construction**, Amsterdam, v. 7, n. 2-3, p. 177-188, 1998.

KAMARA, J., ANUMBA, C., EVBOMWAN F. Establishing and processing client requirements: a key aspect of concurrent engineering in construction. In: **Engineering Construction and Architectural Management**, Bradford, v. 7, n. 1, p. 15-28, 2000.

KENDALL, K. E.; KENDALL, J. E. **Análisis y diseño de sistemas**. México, D.F.: Prentice-Hall, 1991.

KLANG, A.; VIKMAN, P.; BRATTEBØ, H. Sustainable management of demolition waste: an integrated model for the evaluation of environmental, economic and social aspects. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 38, n. 4, p. 317-334, jul. 2003.

KOSKELA, L. **An exploration towards a production theory and its application to construction**. 2000. 296 f. Thesis (Doctor of Technology) – Technical Research Centre of Finland, VTT Building Technology, Helsinki, 2000.

KOTAJI, S.; SCHUURMANS, A.; EDWARDS, S. **Life-Cycle Assessment in Building and Construction**. Pensacola: SETACPRESS, 2003.

LAMBERTS, R. **Desempenho térmico de Coberturas Leves com Ático**: bancada de testes e modelos matemáticos. 1983. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

_____. **Heat Transfer Through Roof of Low Cost Brazilian Houses**. 1988. 145 f. Tese (Doctor of Philosophy) - Department of Civil Engineering, University of Leeds, Leeds, 1988.

LIPPIATT, B. **BEES 3.0 – Building for environmental and economics sustainability**: technical manual and user guide. Gaithersburgh: U. S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2002.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. Nova York: John Wiley, 1994.

MACEDO, M.; SOTERO, A. P. O tratamento dado aos rejeitos radioativos. **COMCIÊNCIA**: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico, Campinas, ago. 2000. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/nuclear/nuclear10.htm>>. Acesso em: 26 set. 2004.

MACOZOMA, D. S. **Building Deconstruction**. Rotterdam: CIB, 2001. (Gyula Sebestyen Fellowship 2001: Construction Waste, Publication 278, report 2). Disponível em: <www.cibworld.nl/pages/begin/Pub278/05Deconstruction.pdf>. Acesso em: 3 ago. 2004.

MANFREDINI, C. **Impactos Ambientais Causados pelas Indústrias de Cerâmica Vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MELO ÁLVARES, O.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario.htm>>. Acesso em: 15 ago 2004.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Térmicas a Carvão**. Brasília, 2004. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/termel03.htm>. Acesso em: 10 jan. 2005.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **BEES 3.0**. Gaithersburg, 2004. Disponível em: <<http://www.bfrl.nist.gov/oa/software/bees.html>>. Acesso em: 7 jul. 2004.

NIU, L.; BURNETT, J. Setting up the criteria and credit-awarding scheme for building interior material selection to achieve better indoor air quality. **Environment International**, New York, v. 26, n. 7-8, p. 573-580, jun. 2001.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Environmentally Sustainable Buildings: challenges and policies**. Paris: OECD, 2003. 196 p.

PEARCE, A. R. **A Primer on Green Building Materials**. Atlanta: Georgia Tech Research Institute, 1998. Technical paper produced for Sustainable Facilities & Infrastructure Program.

PETROBRÁS Distribuidora S.A. **Óleo Combustível**. . 2004. Disponível em: <<http://www.br.com.br/>>. Acesso em: 18 out. 2004. Segmento de atuação: Grandes consumidores: produtos.

PINTO, T. P. **Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana**. 1999. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PLESSIS, C. du (Org.). **Agenda 21 for sustainable Construction in developing Countries: a discussion document**. Rotterdam: CIB; CSIP, 2002.

PULLEN, S. F. Data quality of embodied energy methods. In: PROCEEDINGS OF THE EMBODIED ENERGY: THE CURRENT STATE OF PLAY. 1996, Geelong, Australia. **Proceedings...**, Geelong, Australia: DEAKIN, 1996. Disponível em: <<http://www.ab.deakin.edu.au/Researchinfo/EEseminar/pdf.htm>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

RODRIGUES, A. B. F.; RUSCHEL, R. C. Sistemas construtivos e materiais nos empreendimentos de interesse social desenvolvidos pelas COHABS e órgãos assemelhados. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2002. Disponível em: <www.infohab.org.br>. Acesso em: 22 de set. 2004.

SAGAN, C. **Bilhões e Bilhões: reflexões sobre a vida e a morte na virada do milênio**. São Paulo: Companhia da Letras, 1998.

SATO, N. M. N. Modelo para cálculo de temperaturas e fluxos de calor em coberturas. **Tecnologia de Edificações**. São Paulo: PINI, 1988.

SATTLER, M. A. Land use and sustainable buildings: design and construction in southern Brazil. **UNEP Industry and Environment**, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 42-45, abr. 2003. Disponível em: <<http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>>. Acesso em 29 jun. 2004.

SILVA, V. G. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros**: diretrizes e base metodológica. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SJÖSTRÖM, C. Durability of Building Materials and Components. In: CIB SYMPOSIUM ON CONSTRUCTION & ENVIRONMENT, 2000, São Paulo. **Theory into Practice: anais** São Paulo: CIB, 2000. 1cd-rom.

SOARES, S. R. CASTILHOS JÚNIOR; A. B. de; MARTINS, A.; BREITENBACH, F. E.; LUPATINI, G. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos (revestimento, blocos e telhas) do Setor Cerâmico da Indústria de Construção Civil**: Panorama do Setor. Florianópolis: HABITARE, 2002. Disponível em: <<http://habitare.infohab.org.br/>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**: Setor Florestal Brasileiro. 2004. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

SOIBELMAN, L. **As Perdas de Materiais na Construção de Edificações**: sua incidência e seu controle. 1993. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOLO-GABRIELE. H.; CATILU, V.; KORMIENKO, M.; TOWNSEND, T.; MESSICK, B. **Disposal of CCA-treated Wood**: An Evaluation of Existing and Alternative Management Options. Florida: Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, 1999. Disponível em: <<http://www.ccaresearch.org/publications.htm>>. Acesso em: 19 out. 2003.

SOLO-GABRIELE. H.; PENHA, J.; CATILU, V.; TOWNSEND, T.; TOLAYMAT, T. **Disposal of CCA-treated Wood**: Generation, Use, Disposal, and Management Options for CCA-Treated Wood. Florida: Florida Center for Solid and Hazardous Waste Management, 1998. Disponível em: <<http://www.ccaresearch.org/publications.htm>>. Acesso em: 19 out. 2003.

SPERB, M. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**. 2000. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SQUARE ONE. Ecotect Homepage. 2004. Disponível em: <<http://www.squ1.com/index.php?http://www.squ1.com/ecotect/ecotect-home.html>>. Acesso em 10 jan. 2005.

STULZ, R. **Roofing Primer: A Catalogue of Potential Solutions**. St. Gallen: SKAT, 2000. Disponível em: < www.skat-foundation.org/publications/pdf>. Acesso em: 3 ago. 2004.

TABELAS DE COMPOSIÇÕES DE PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO 10). São Paulo: Pini, 1996.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. Estudos comparativos sobre consumo energético no ciclo de vida de edificações residenciais do Brasil, Austrália e Suécia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004. 1 CD-ROM.

TODD, J. A.; CURRAN, M. A. **STREAMLINED Life-Cycle Assessment: A Final Report from the SETAC North America Streamlined LCA Workgroup**. Brussels: SETAC, 1999. Disponível em: <www.setac.org/files/lca.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2004.

TRANKLER, J. O. V.; DOHMANN, I. W.; DOHMANN, M. Environmental impact of demolition waste an overview on 10 years of research and experience. **Waste Management**, Oxford, v. 16, n. 1-3, p. 21-26, 1996.

TRUSTY, W. B. Introducing an Assessment Tool Classification System. **Advanced Building Newsletter**, Ottawa, n.25, p. 18, jul. 2000. Disponível em: <<http://www.athenasmi.ca/papers/papers.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2004.

TRUSTY, W. B.; HORST, S. Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems. In: USGBC GREENBUILDING INTERNATIONAL CONFERENCE & EXPO, 2002, Austin, **Proceedings...** Austin: USGBC, 2002. Disponível em: <<http://www.athenasmi.ca/papers/papers.htm>>. Acesso em: 23 jun. 2004.

UDO DE HAES, H. A.; JOLLIET, O.; FINNVEDEN, G.; HAUSCHILD, M.; KREWITT, W.; MÜLLER-WENK, R. Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment: Background Document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2). **International Journal of Life Cycle Assessment**, Landsberg, v. 4, n. 2, p. 66-74, 1999.

ULRICH, K.T.; EPPINGER, S.D. **Product design and development**. New York: McGraw-Hill, 1995.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMICS AND SOCIAL AFFAIRS. **Agenda 21**. New York, 1992. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>>. Acesso em: 26 jan 2004.

UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS. **The Habitat Agenda**. Istambul, 1996. Disponível em: <http://www.unhabitat.org/declarations/habitat_agenda.asp>. Acesso em: 26 jan 2004.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. **Evaluation of environmental impacts in Life Cycle Assessment**. Paris: UNEP, 2003. Disponível em:

<http://rosinant.antenna.nl/scnet/fmpro?-db=scnetres_.fp3&-format=rescatpub.html&-view>. Acesso em: 29 jun. 2004.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Building Air Quality: A Guide for Building Owners and Facility Managers**. Washington, 1991. Disponível em:

<<http://www.epa.gov/iaq/largebldgs/baqtoc.html>>. Acesso em: 3 ago. 2004.

_____. Natural Gas Processing. **AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. Washington, 1995a. v. 1., Chapter 5. Disponível em:

<<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch05/final/c05s03.pdf>>. 1995. Acesso em: 22 set. 2004.

_____. Stationary Point and Area Source. External Combustion Sources. **AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors**. Washington, 1995b. v. 1. Chapter 1. Disponível em:

<<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/>>. 1995. Acesso em: 22 set. 2004.

_____. **Environmental Assessment Principles**. Washington, 1998. Disponível em:

<<http://www.epa.gov/clariton/srch.htm>>. Acesso em: 22 set. 2004.

_____. **Global Warming: Climate Uncertainties**. Washington, Jan. 7th, 2000. Disponível em: <<http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/climateuncertainties.html>>.

Acesso em: 10 jan. 2005.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy & Environmental Design: Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations**. Washington, 2002.

Disponível em: <<http://www.usgbc.org/leed>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

US GREEN BUILDING COUNCIL. **Leadership in Energy & Environmental Design**.

Washington, 2004. Disponível em: <http://www.usgbc.org/leed/leed_main.asp>. Acesso em: 10 jan. 2005.

WILSON, A. Building Materials: What Makes a Product Green? **Environmental Building News**, v. 9, n. 1, jan. 2000. Disponível em: <

<http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm?fileName=090101a.xml>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

WELLS, J. Social aspects of sustainable construction: an ILO perspective. **UNEP Industry and Environment**, Paris, v. 26, n. 2-3, p. 72-75, abr. 2003. Disponível em:

<<http://www.uneptie.org/media/review/archives.htm>>. Acesso em 29 jun. 2004.

YAZDANI, B.; HOLMES, C. Four Models of Design Definition: sequential, design centered, concurrent and dynamic. **Journal of Engineering Design**, Taylor and Francis, v. 10, n. 1, p. 25-37, 1999.

YOUNG, S. B.; TURNBULL, S.; RUSSELL, A. **What LCA can tell us about the cement industry**. Geneva: Five Winds International, 2002. Disponível em:

<http://www.wbcscement.org/final_reports.asp>. Acesso em: 19 out. 2004.

YOURDON, Edward. **Análise Estruturada Moderna**. Rio de Janeiro: Campus, 1990.

Daniel Pinho de Oliveira (danielpinhodeoliveira@hotmail.com) – Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 2005

APÊNDICES

As seções seguintes estão presentes apenas da versão digital deste trabalho de dissertação. Na versão impressa, os mesmos estão em anexo, em mídia digital.

APÊNDICE A – Caracterização Subsistema A

QUANTITATIVO E DESCRIÇÃO DO TELHADO DO PROTÓTIPO SUBSISTEMA A

INFORMAÇÕES GERAIS

Área do telhado (incluindo beirais): 54,00M²

Inclinação do telhado: 26% - 15o

Material constituinte: telhas, forro, ripas, caibros, linhas, chapas offset, pregos, arame recozido para amarração das telhas.

Telhas	
Descrição	Telhas cerâmicas tipo portuguesa na cor natural com resistência e impermeabilidade conforme normas brasileiras
Dimensões	24 x 41,5
Fornecedor	Sem fornecedor específico
Local do fornecedor	Bom Princípio
Distância transportada	72 km (http://www.dnit.gov.br/index.asp)
Densidade	1890 kg/m ³ segundo Bueno e Lamberts
Massa unitária	2,6 kg (vários fabricantes)
Massa total	3185,00 kg
Composição	19,6 unidades/m ²
Quantidade	1225 unidades – (23x45-água maior / 31x6-água menor+4 do telhado lateral) – levantado no local
Massa por m ²	50,82kg/m ²
Índice de condutividade	0,46W/m ^o C(cerâmica) – 0,93 (telha de barro moldada)
Vigas concreto	
Descrição	Vigas de suporte do telhado de 18MPa
Dimensões	8,18x0,16m
Volume	0,252m ³ x 5= 1,26m ³
Traço	189kg/m ³ (cimento); 0,7859m ³ /m ³ (areia média); 0,19m ³ /m ³ (brita 1); 0,57m ³ /m ³ (brita2)
Local do fornecedor	Cimento (Esteio-RS) Areia (Porto Alegre-RS) Brita (Porto Alegre-RS) Aço (Sapucaia do Sul – RS)
Distância transportada	Cimento - 16 km Aço – 19 km Brita – 0 km (dentro da região metropolitana) Aço 0 km (dentro da região metropolitana)
Quantidade útil	39,8m lineares de perfil 2,5cm x 25cm
Massa total	146,76kg

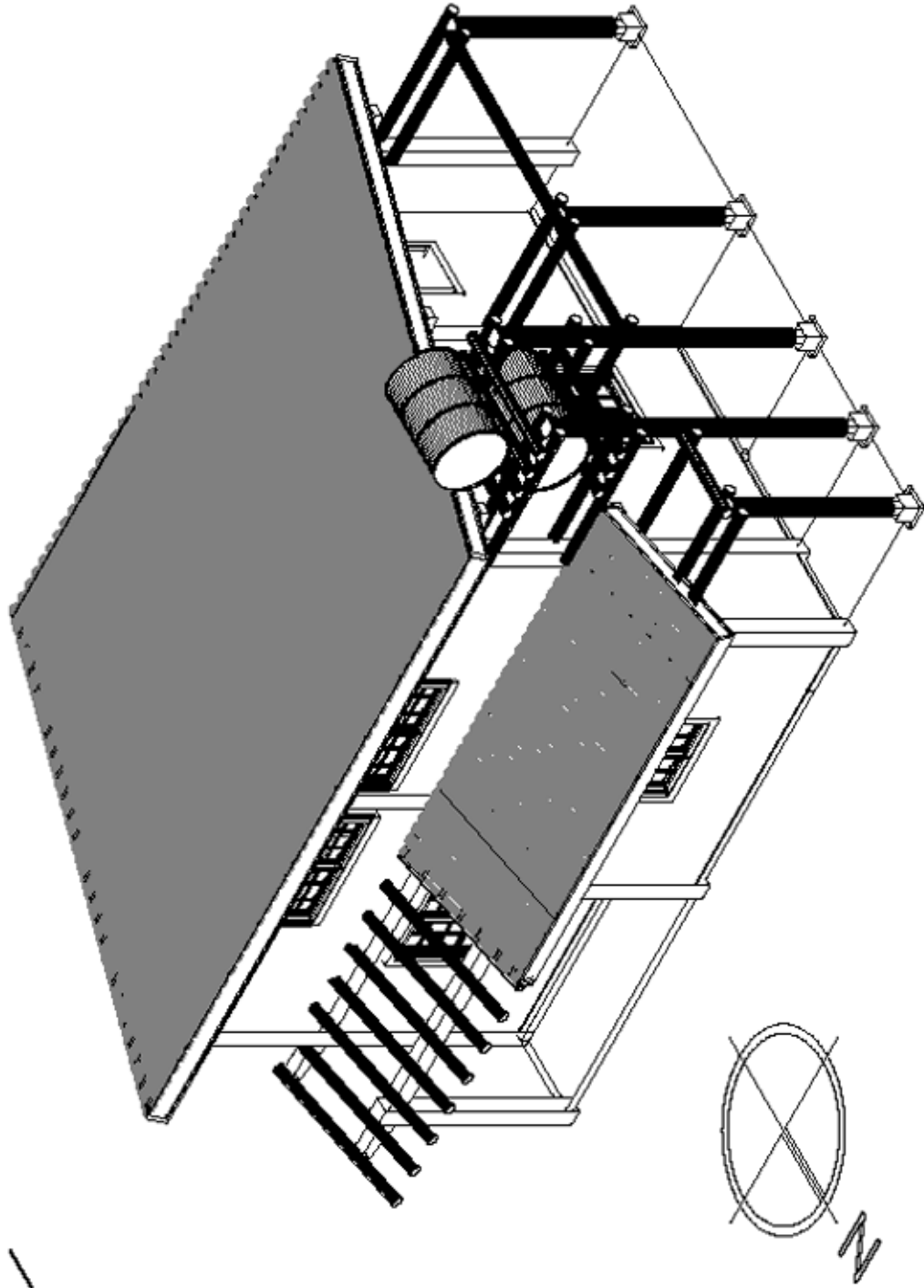
Forro de cedrinho	
Descrição	Réguas de 2m8,5x3cm Forro de cedrinho Madeira nativa de denominação genérica “cedrinho” com tratamento alternativo de nata de cal
Dimensões	Lambris de 3cm x 8,5 cm x 550 cm (espessura x largura x comprimento)
Fornecedor	Grassi&Cia dentre outros (Planilhas)
Local de origem	Sinop-MT (SPERB, 2000)
Distância transportada	2707 km (Sinop-Porto Alegre)
Densidade	590kg/m ³ (Mendes, Albuquerque e Iwariki) 590kg/m ³ (pavanwood.com.br) 550 ino apud sperb
Quantidade útil	53m ²
Quantidade útil	Beiral (16 lambris de 8,05m=128,8m) Quarto 02 (31 lambris de 3,00m=93m) Quarto 01 (33 lambris de 3,00m=42,16m) Sala (11 lambris de 3m42m + 33 lambris de 3,42m + 12 lambris de 2,80m) WC (19 lambris de 2,80m=53,2m)
Quantidade comprada	78m ²
Volume	2 0,03m ³
Massa por m ²	17,7kg (0,03m ³ . 590kg/m ³)
Índice de condutividade	0,15 W/m°C (projeto de norma)

Caibros	
Descrição	Guias de pinus, reutilizados da madeira das formas das fundações
Dimensões	2,5cm x 15 cm x 270cm
Fornecedor	Grassi e Cia / Madeireira Santa Isabel
Local de origem	Canela-RS (SPERB, 2000)
Distância transportada	98km
Densidade	500kg/m ³ (INO apud SPERB, 2000)
Quantidade útil	26 guias de 7,10m lineares=184,4m lineares 16 guias de 5m= 80m lineares 264,4m lineares
Quantidade comprada	100 peças de 270cm = 270m
Massa total	584,98kg
Massa por m ²	2 9,33kg/m ²

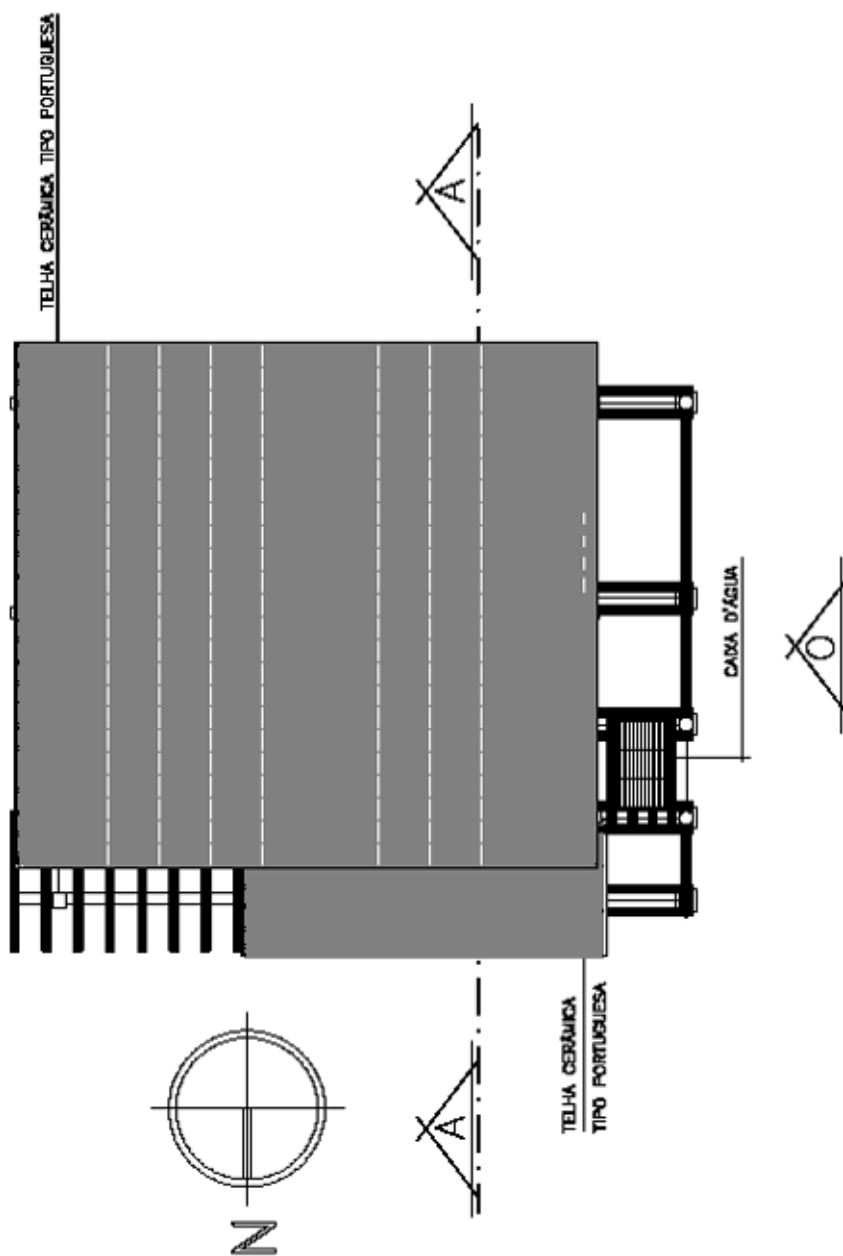
Ripas	
Descrição	Ripas de cedrinho vermelho de 2,5x5x220 cm com distanciamento de acordo com a telha
Dimensões	Unidades de 2,5cm x 5cm x 500cm
Fornecedor	Grassi & Cia / Cimafer
Local de origem	Sinop-MT – fonte provável
Distância transportada	2707 km-DNIT
Densidade	590 kg/m ³
Quantidade útil	24 ripas de 8,05m lineares=193,2m lineares 7 ripas de 5m lineares= 35m lineares Total 228,2m lineares
Quantidade comprada	141m + 90m= 231m lineares
Massa total	168,30 kg – (228,2m.0,05.0,025) x 590kg/m ³ – volume total x densidade
Massa por m ²	2,68kg para cada m ² de telhado
Metros lineares por m ²	3,63 metro linear por cada m ² de telhado
Observações	Estimados 24 ripas de 8,10m e 7 ripas de 4,75 Total estimado de 214,8m de ripas de 1x5cm (186,3+28,5m) Ao custo de 27,50-67,40

Fechamento - Testeiras	
Descrição	Fechamento lateral do telhado testeiras com 2,5x15x220 cm em eucalipto citriodora satisfazendo as especificações gerais para o madeiramento do telhado
Dimensões	Perfis de 2,5cm x 25cm
Fornecedor	Grassi & Cia / Cimafer
Local de origem	Sinop-MT – fonte provável
Distância transportada	2707 km-DNIT
Densidade	590 kg/m ³
Quantidade útil	39,8m lineares de perfil 2,5cm x 25cm frontal do telhado maior=8,05m x 2 lateral do telhado maior=7,16m x 2 frontal do telhado menor=5,00m lateral do telhado menor=1,88m lateral do telhado menor=2,50m
Quantidade comprada	8 peças de 2,5cm x 25cm x 500cm 4 peças de 2,5cm x 25cm x 450cm Total=58 metros lineares de 2,5cm x 25cm
Volume	0,24875m ³
Massa total	146,76 kg

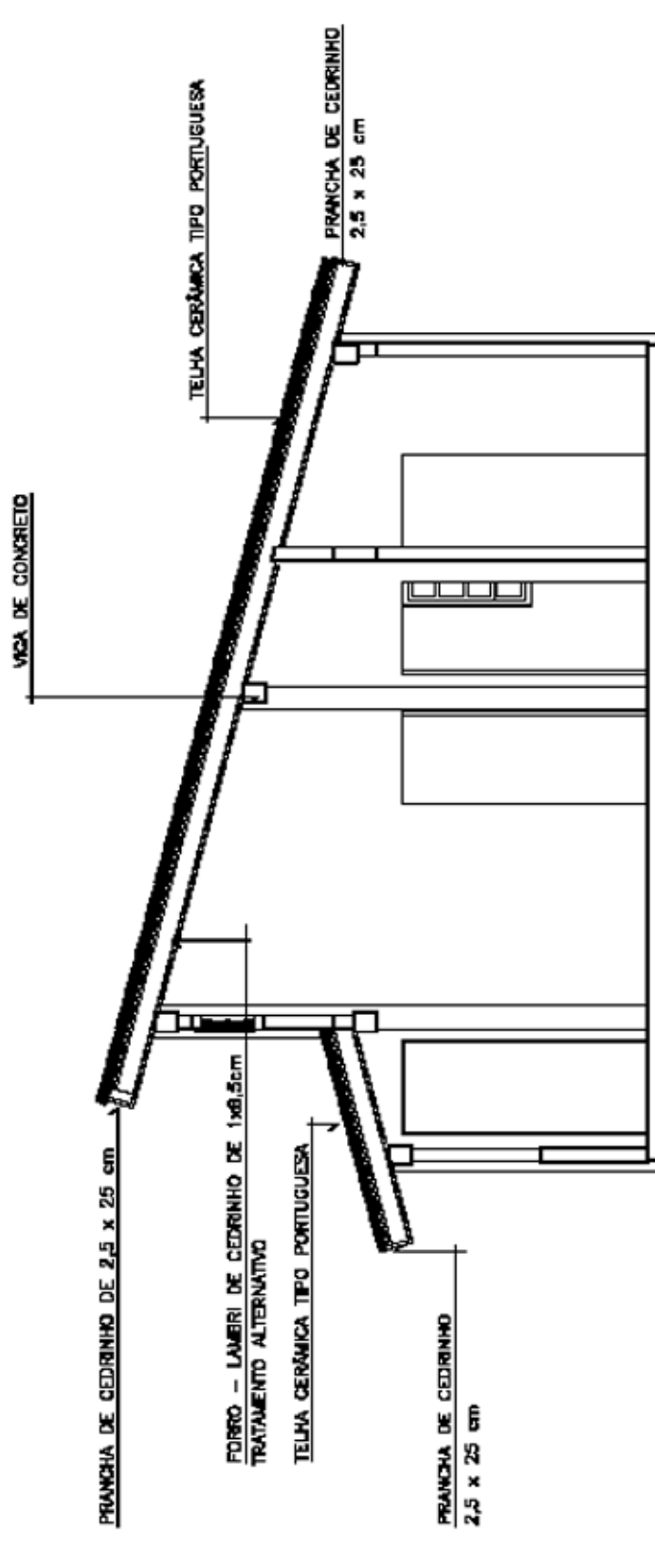
Chapas offset	
Descrição	Chapas metálicas de offset reutilizadas
Dimensões	0,3x770x1030 mm
Fornecedor	Gráfica Palocci – Porto Alegre
Local de origem	Av Plínio Brasil Milano, 2145
Distância transportada	Zona urbana – distancia não considerada
Densidade	2700 kg/m ³
Quantidade útil	65 chapas
Composição	1,05 unidades/m ²
Massa unitária	0,642411 (massa da unidade x massa específica)
Condutividade	230 W/m°C (projeto de norma)
Emissividade	Chapas novas de alumínio ou ferro galvanizado: 0,20-0,30 Chapas sujas de alumínio ou ferro galvanizado: 0,20-0,30 Alumínio, cromo ou cobre polidos: 0,02-0,04
Observações	Custo não identificado - doadas Conferir dimensões in loco Estas chapas serão reaproveitadas dos resíduos de gráficas, terão as dimensões de 0,3x770x1030 mm em alumínio, fixadas entre as terças e o ripamento da cobertura, sempre com o lado limpo voltado para baixo



Perspectiva Isométrica do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura A



Planta de Cobertura do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura A



Corte Esquemático do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura A

APÊNDICE B – Caracterização Subsistema B

QUANTITATIVO E DESCRIÇÃO DO TELHADO DO PROTÓTIPO SUBSISTEMA B

Informações gerais

Área do telhado (incluindo beirais): 59,80M²

Inclinação do telhado: 26% -15°

Materiais do telhado do protótipo

Telhas

Descrição	Telhas de fibrocimento sem amianto – 8mm
Dimensões	8 Telha ondulada et 8mm 1,83x1,10m 8 Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m 5 Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m
Fornecedor	Brasilit
Local do fornecedor	Esteio – RS
Distância transportada	16km (DNIT, 2004)
Densidade	1600 kg/m ³ segundo Bueno e Lamberts
Massa unitária	24 kg/m ² Telha ondulada et 8mm 1,83x1,10m – 32,5 kg Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m – 37,9 kg Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m – 37,9 kg
Quantidades	8 Telha ondulada et 8mm 1,83x1,10m 8 Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m 5 Telha ondulada et 8mm 2,13x1,10m
Massa total	13 telhas de 2,13x1,10=492,7 kg 8 telhas de 1,83,1,10=260,00 kg Total=752,7
Índice de condutividade	0,35W/m°C (Brasilit)
Energia incorporada	101,7 MJ/kg (Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, 2004)

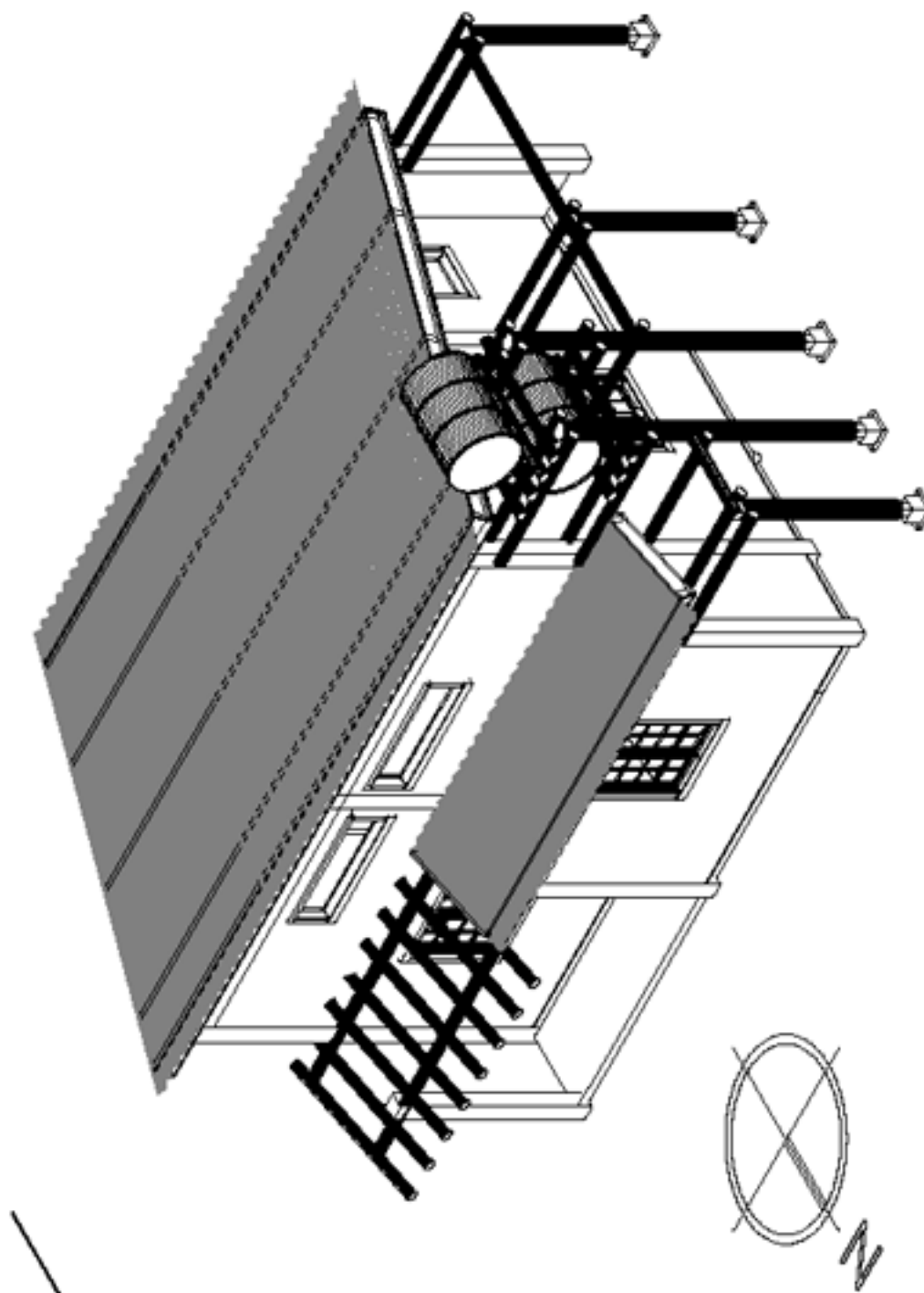
Forro de pinus

Descrição	Réguas de 2m – Perfil de 8,5 x 1cm
Dimensões	Sem fornecedor específico
Fornecedor	Lambris de 1cm x 8,5cm x 5,5m (espessura x largura x comprimento)
Local do fornecedor	Canela-RS Conforme SPERB, 2000 – Fonte provável
Distância transportada	98km
Densidade	500kg/m ³ (INO apud SPERB)
Quantidades	Beiral (103 lambris de 0,53 + 32 lambris de 1,40=99,39m) Quarto 02 (31 lambris de 3,13m=97,03m) Quarto 01 (33 lambris de 3,13m=103,29m) Sala (11 lambris de 3,46m + 33 lambris de 3,42m + 15 lambris de 2,60m=239,32) WC (19 lambris de 2,60m=53,2m) Total=592,23m □ 50,34m ² □ 50,34m ³ (considerando a espessura=1cm)
Massa total	500 kg/m ³ x 50,34 m ³ = 25170 kg
Massa por m ²	25170 kg / 59,80 m ² = 420,90 kg/m ²
Volume por m ²	0,84 m ³ para cada m ² de area coberta (59,80m ² de área coberta)
Energia incorporada	0,5 MJ/kg (Lawson (1997 apud CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001) seca ao ar livre, sem incluir transporte

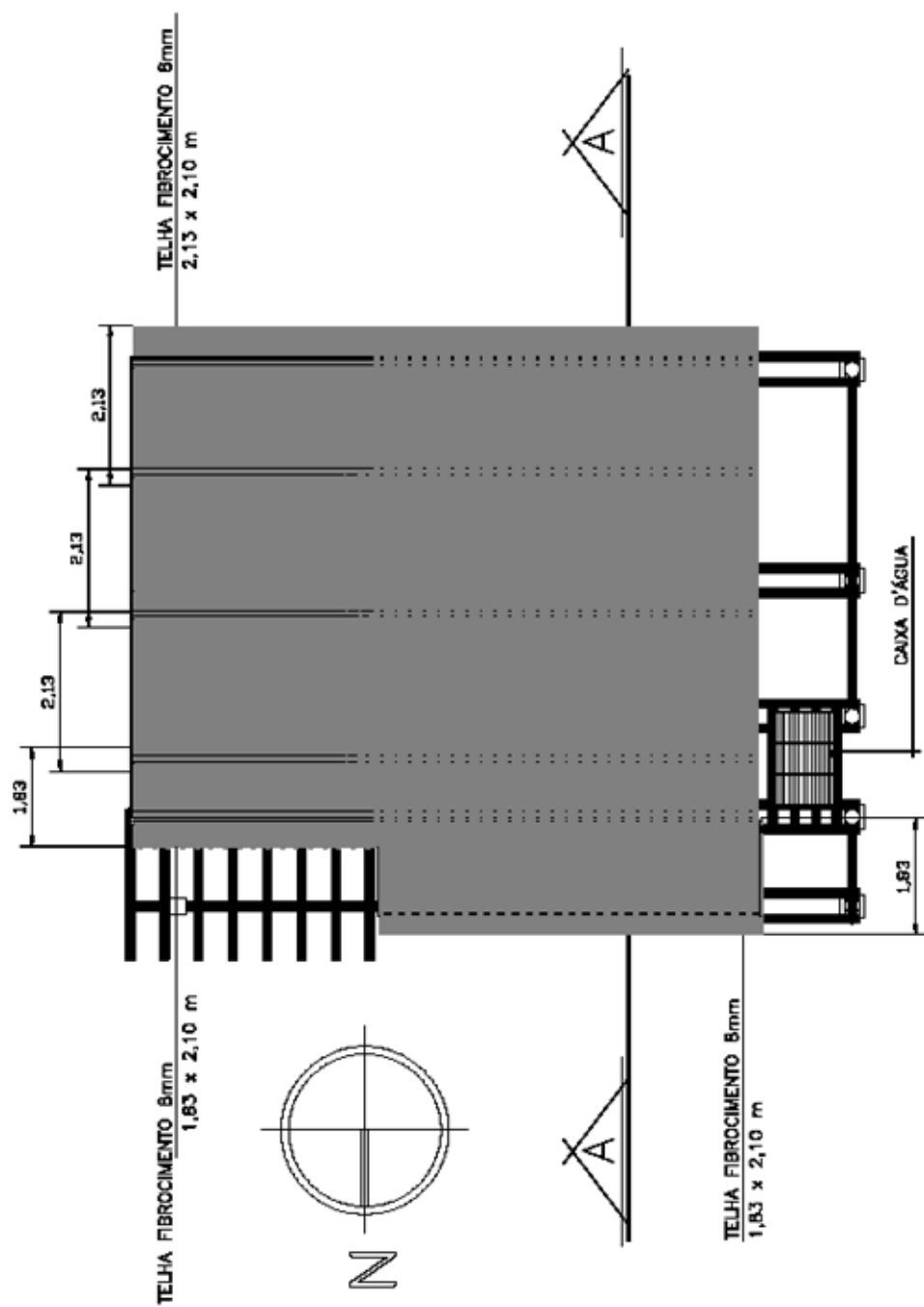
Sarrafos de pinus	
Descrição	Réguas de 2 cm x 5 cm de pinus
Dimensões	2 x 5 x 2,70 cm
Fornecedor	Sem fornecedor específico
Local do fornecedor	Canela-RS Conforme SPERB, 2000 – Fonte provável
Distância transportada	98km
Quantidades	112,55m lineares de perfil de 2x5
Massa total	500 kg/m ³ x 50,34 m ³ = 25170 kg
Massa por m ²	25170 kg / 59,80 m ² = 420,90 kg/m ²
Volume por m ²	0,84 m ³ para cada m ² de área coberta (59,80m ² de área coberta)
Energia incorporada	0,5 MJ/kg (Lawson (1997 apud CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001) seca ao ar livre, sem incluir transporte

Linhas de cedrinho	
Descrição	Madeira nativa de denominação genérica “cedrinho” com tratamento convencional
Dimensões	5 cm x 15 cm x 600 cm
Fornecedor	Sem fornecedor específico
Local do fornecedor	Sinop - MT
Distância transportada	2707km (Sinop-POA)
Densidade	590kg/m ³ (Mendes, Albuquerque e Iwariki)
Quantidades	5 linhas de 8,05m =40,24m 2 linhas de 4,10 = 8,2 m Total=48,44m
Massa total	0,58 m ³ x 590 kg/m ³ = 342,95 kg
Massa por m ²	342,95 / 59,80 m ² = 5,73 kg/m ² de área coberta
Volume por m ²	48,44m x 0,08m x 0,15m = 0,58m ³
Energia incorporada	0,5 MJ/kg (Lawson (1997 apud CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001) seca ao ar livre, sem incluir transporte

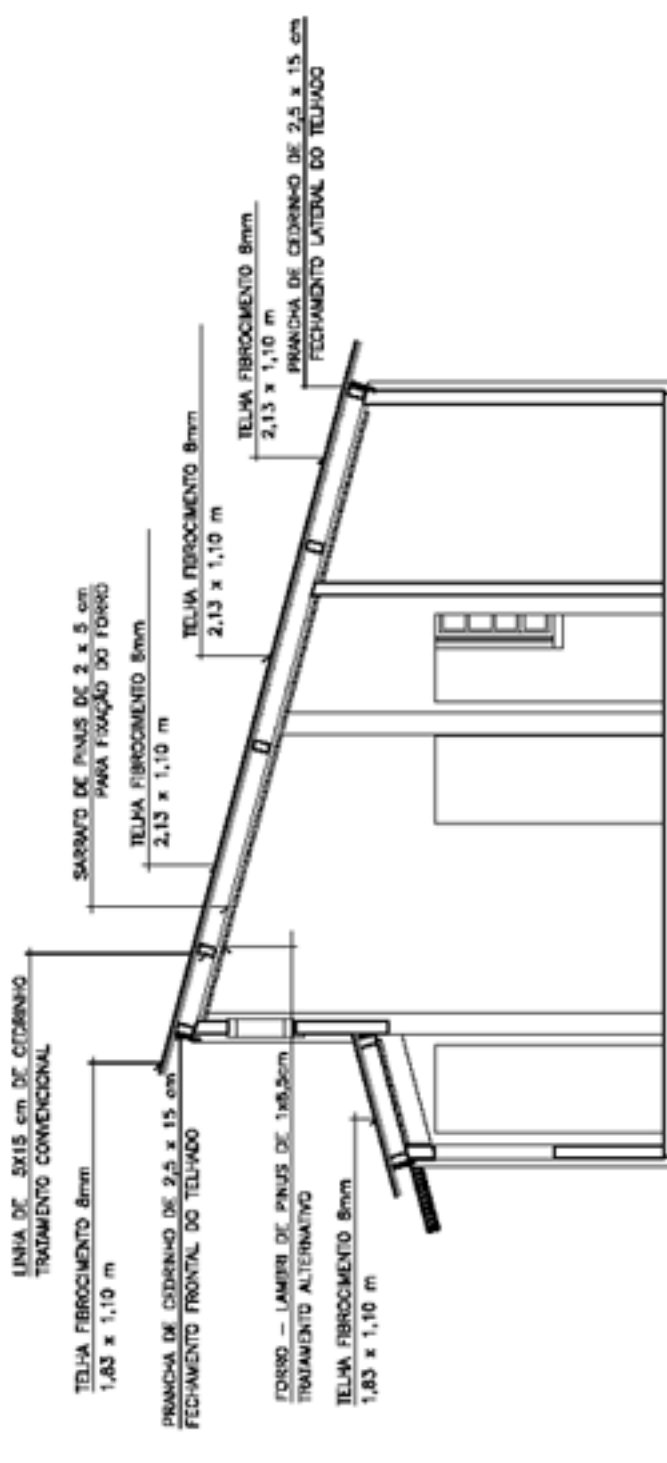
Linhas de cedrinho	
Descrição	Fechamento lateral do telhado testeiras com 2,5x15x400 cm em cedrinho Madeira nativa de denominação genérica “cedrinho” com tratamento convencional
Dimensões	8 cm x 5 cm x 600 cm
Fornecedor	Sem fornecedor específico
Local do fornecedor	Sinop - MT
Distância transportada	2707km (Sinop-POA)
Densidade	590kg/m ³ (Mendes, Albuquerque e Iwariki)
Quantidades	35,85m lineares de perfil 2,5cm x 25cm frontal do telhado maior=8,05 m x 2 lateral do telhado maior=6,15 m x 2 frontal do telhado menor=4,95 m lateral do telhado menor=1,25 m lateral do telhado menor=1,25m
Massa total	132,19 kg
Massa por m ²	132,19 / 59,80 m ² = 2,21 kg/m ² de área construída de área coberta
Volume por m ²	0,224 m ³
Energia incorporada	0,5 MJ/kg (Lawson (1997 apud CORTEZ-BARBOSA; INO, 2001) seca ao ar livre, sem incluir transporte



Perspectiva Isométrica do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura B



Planta de Cobertura do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura B

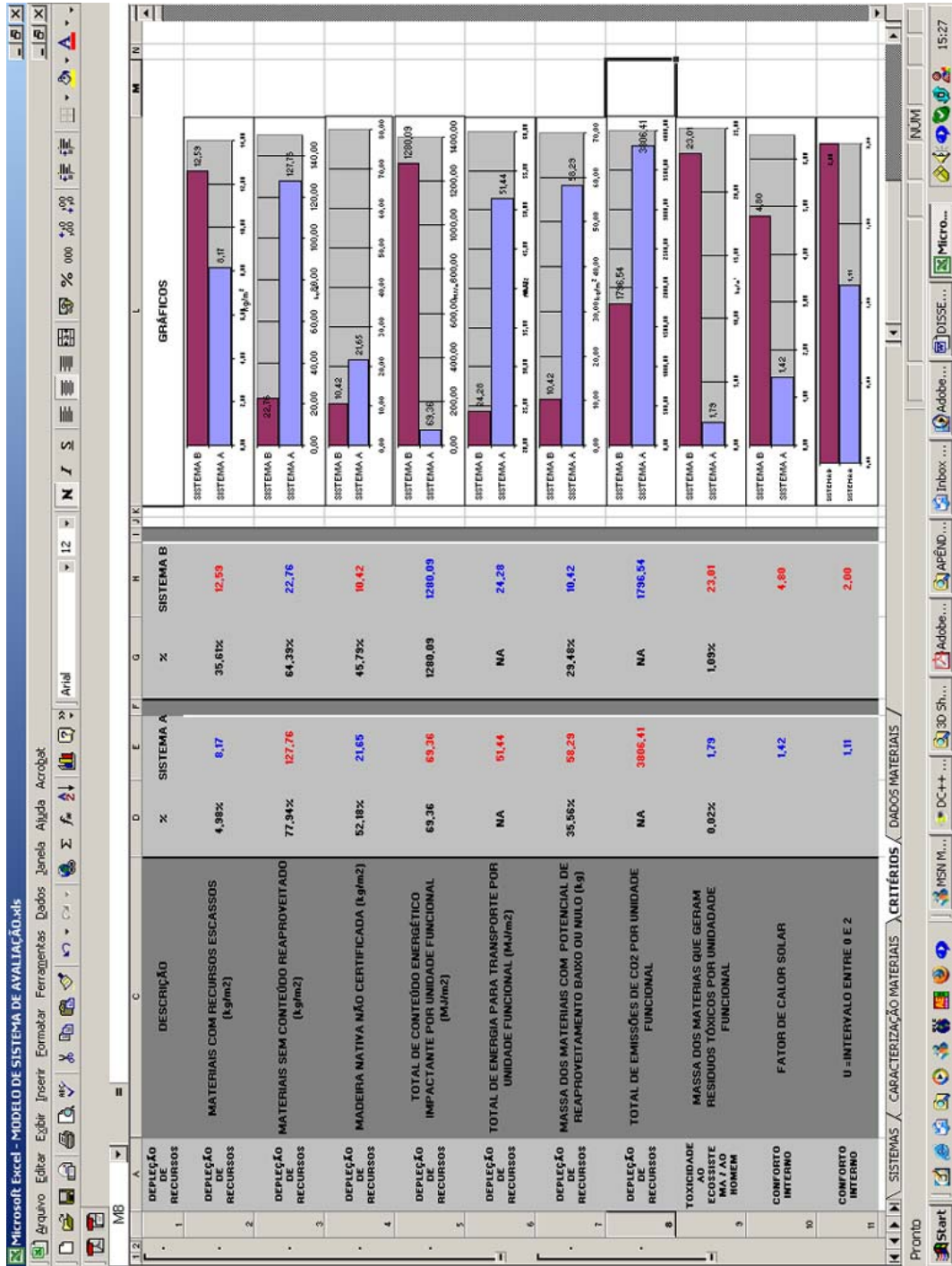


Corte Esquemático do Protótipo Alvorada – Subsistema de Cobertura B

APÊNDICE C – Dados para Caracterização dos Critérios Ambiental

	A	B	C	D
3	TELHAS DE RECOBRIMENTO	CERÂMICA - PORTUGUESA	FIBROCEMTO SEM AMANTO	SELECIONAR ALTERNATIVA
5	ESTRUTURA - PRINCIPAL (VIGAS/TECOURAS)	CONCRETO	SEM ESTRUTURA PRIMARIA	SELECIONAR ALTERNATIVA
7	ESTRUTURA - SECUNDARIA (LIMHAS)	MADERA - PINUS - REAPROVEITADA	MADERA - CEDRINHO - TRATADA	SELECIONAR ALTERNATIVA
9	ESTRUTURA - TERCEIRA (CABROS E PIPAS)	MADERA - CEDRINHO - TRATAMENTO ALTERNATIVO	MADERA - CEDRINHO - TRATADA	SELECIONAR ALTERNATIVA
11	ISOLAMENTO	FOLHA DE ALUMINIO	SEM ISOLAMENTO	SELECIONAR ALTERNATIVA
14	FORRO	MADERA - CEDRINHO - TRATAMENTO ALTERNATIVO	MADERA - PINUS - NÃO REAPROVEITADA	SELECIONAR ALTERNATIVA
17	MASSA UTILIZADA - DOS MATERIAIS			
18		SISTEMA 01	SISTEMA 02	
19	TELHAS	3244,00	752,786000	ENTRAR
20	ESTRUTURA - PRINCIPAL (VIGAS/TECOURAS)	2779,87	8,000000	ENTRAR
21	ESTRUTURA - SECUNDARIA (LIMHAS/SOLAS)	496,00	343,020000	ENTRAR
22	ESTRUTURA - TERCEIRA (CABROS E PIPAS)	168,30	122,640000	ENTRAR
23	ISOLAMENTO	417,56	8,000000	ENTRAR
24	FORRO	372,39	281,558000	ENTRAR
25		7478,72	1509,32	
27	DESEMPENHO TÉRMICO			
28		SISTEMA 01	SISTEMA 02	
29	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSMISSÃO TÉRMICA	1,11	2	
30	RESISTÊNCIA TÉRMICA	0,900000001	0,5	
32	CARACTERÍSTICAS GERAIS			
33		SISTEMA 01	SISTEMA 02	
34	PROJEÇÃO DE ÁREA COBERTA	65,5	59,8	

Screenshot do protótipo de sistema de avaliação - Módulo 1 – introdução de dados



Screenshot do protótipo de sistema de avaliação - Módulo 2 - apresentação de resultados

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
		PROCECENCIA (KM)	ABUNDANCIA	VIDA ÚTIL	REPOSIÇÕES	ÍNDICE ENERGÉTICO	PERDAS	CONTEÚDO REAPROVEITADO	MADERA REFLORADA OU CERTIFICADA	TIPO TRANSPORTE	ÍNDICE ENERGÉTICO TRANSPORTE	PERCENTUAL IMPACTANTE	ALBEDO EM INFRAVERMELHO	COEFICIENTE DE EMISSÃO GMU	RESÍDUOS TÓXICOS	POTENCIAL DE REAPROVEITAMENTO	PROCECENCIA MADEIRA REFLORADA OU CERTIFICADA
2	TELHAS																
3	CERÂMICA - PORTUGUESA	72	100,00%	30	0	3,73	13,00%	0	NA	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	2,00%	67,7	74	0	1,0000	0
4	FIBROCIMENTO SEM AMIANTO	18	0,00%	20	0	10,17	0,00%	1	NA	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	100,00%	39,35	74	1	1,0000	0
5	MADEIRA - PINUS - REAPROVEITADA	0	100,00%	15	1	0,5	31,00%	1	SIM	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	0,00%	NA	74	0	1,0000	1
6	MADEIRA - PINUS - NÃO REAPROVEITADA	98	100,00%	15	1	0,5	31,00%	0	SIM	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	0,00%	NA	74	0	1,0000	1
7	MADEIRA - CEDRINHO - TRATADA	2707	100,00%	20	0	0,5	31,00%	0	NÃO	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	0,00%	NA	74	1	0,0000	0
8	MADEIRA - CEDRINHO - TRATAMENTO ALTERNATIVO	2707	100,00%	20	1	0,5	31,00%	0	NÃO	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	0,00%	NA	74	0	1,0000	0
9	MADEIRA - EUCALIPTO	98	100,00%	20	1	0,5	31,00%	0	SIM	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	0,00%	NA	74	0	1,0000	1
10	CONCRETO - CIMENTO	18	100,00%	NA	0	1,88	56,00%	1	NA	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	86,47%	NA	74	0	0,0000	0
11	CONCRETO - AÇO	19	0,00%	NA	0	25,58	10,00%	1	NA	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	91,20%	NA	74	1	1,0000	0
12	CONCRETO - AREIA	0	100,00%	NA	0	0,07	44,00%	0	NA	TRANSPORTE URBANO	0	100,00%	NA	0	0	0,0000	0
13	CONCRETO - BRITA	0	100,00%	NA	0	0,07	38,00%	0	NA	TRANSPORTE URBANO	0	100,00%	NA	0	0	0,0000	0
14	CONCRETO	2,7367	97,02%	30	0	10,756	41,60%	0,1855	NA	RODOVIÁRIO - CAMINHÃO 3 EIXOS	0,000019	50,48%	NA	74	0,0288	0,0288	0
15	FOLHA DE ALUMÍNIO	0	0,00%	0	0	0	0,00%	1		TRANSPORTE URBANO	0	0,00%	NA	0	0	1,0000	0

ScreenShot do protótipo de sistema de avaliação - Módulo 3 - dados do materiais